雙月刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

NO. 170
2018 FEBRUARY

我國氣候風險指數高居全球第7位

離福島越遠，越害怕福島

世界各國除役拆廠作業規劃與廢棄物處理現況

日本公布最終處置場潛在場址區域圖

核子醫學的輻射是好還是壞？

尋求低碳、穩定的七彩能源

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.170 雙月刊

FEBRUARY 中華民國一〇七年二月號

熱門話題

封面故事

專題報導

讀者論壇

健康快遞

核能脈動

核能新聞

科普一下

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告

編　者　的　話

根據「2018 年全球氣候風險指數：10 個氣候風險最高的國家」調查報告，我國是第 7 大風險的國家，比前一年的排名急遽上升了 44 名，如何因應極端氣候，避免造成生命財產的損失，已經迫在眉睫。

2017 年 11 月 18 日閉幕的聯合國氣候變化綱要公約第 23 次締約國大會，在會議中發布了兩項指標排名，我國除了在氣候風險指數調查上「名列前茅」，在國際減碳成效評比中卻吊車尾，因減碳量、發展再生能源、能源使用及政府減緩氣候變遷政策上的表現不佳，而落居倒數第 7 名。顯示出台灣因颱風、暴雨等極端氣候所造成的死亡人數與財產損失正大幅增加。這兩項評比意味著不論是為了生命財產安全或是環境永續，台灣都應全力降低碳排放量。

香港城市大學郭位校長在台北發表的「生活面對的風險」演講中強調，由於每個人經驗與認知的不同，一般人受到嘩眾取寵的口舌導引，容易將高曝光度的風險看得過於嚴重，心中想像的風險遠大過實際狀況，對擺在眼前影響巨大的負面事故反而視而不見。

可能很多人會認為恐怖攻擊的風險大於車禍、自殺、食安、空汙，殊不知全球每年死於恐怖攻擊的人數是 2 萬人，而自殺約 80 萬人，車禍是 120 萬人，食安 200 萬人，最嚴重的其實是空氣污染，每年因空氣污染縮短壽命的人高達 650 萬。

造成空氣污染的元兇是懸浮微粒（如 PM10、PM2.5 等），因人類行為而產生的來源包括化石燃料及工業排放、移動源廢氣等燃燒行為。環保署指出，燃煤、燃油及燃氣電廠等電力業的工業污染源所產生的原生性 PM2.5 占全國來源比例為 23%，更排放出溫室氣體──氮氧化物為 41%、硫氧化物高達 88%。如果政府相關的減排機制仍不明確，除了無法達到節能減碳、能源轉型的目標，更難以改善威脅全國民眾生命的空汙問題。

錯誤的能源配比將造成長遠的影響，這是比任何環境危險因子都重大的風險，若能掌握問題的核心，問題自然迎刃而解。

我國氣候風險指數高居全球第 7 位

文・編輯室

非政府組織「德國監測（Germanwatch）」在聯合國氣候變化框架公約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）第 23 次締約國會議（COP23）的會場中，發表 2018 年「全球氣候風險指數（Global Climate Risk Index）」，其中海地、辛巴威、斐濟、斯里蘭卡和越南名列前 5 名，我國則是第 7 大風險的國家。

在受氣候風險影響國家中的排名，我國從 2015 年的第 51 名上升到 2016 年的第 7 名，急遽上升了 44 名。2016 這一年，僅僅因為冬季低溫造成罕見的平地降雪，和夏季連續幾個強烈颱風的侵襲，就造成大約 100 人死亡、數百人受傷，農業和基礎設施遭到嚴重破壞；台灣甚至還歷經了全球最強的颱風梅蘭蒂。

該指數是根據 1997-2016 年「與氣候有關的事件」如風暴、洪水、熱浪等所得出的數據，特別是與此相關的死亡與財產損失。「德國監測」的報告撰寫人艾克斯坦（David Eckstein）強調，100 年前地球一定曾出現過極端氣候，當時的研究人員可能難以將熱浪或颱風與氣候變化具體的聯繫起來。然而，近期的研究證實，氣候變遷導致海水溫度升高，有利颱風和颶風的形成，暖化與非洲、美國和印度等地一再出現的熱浪也有關係。



島國受極端氣候的影響特別巨大

今年的第 13 版報告，分析重申了氣候風險指數的結果：發展中國家通常比工業化國家受到的影響更大。氣候風險指數可能是關於未來氣候變化的一項警訊，提醒一些地區將面臨更頻繁或更嚴重的極端氣候事件，可能會增加其脆弱性；面積小的島國，受極端氣候的影響特別大。雖然許多脆弱的發展中國家經常遭受極端氣候事件的襲擊，但是有些災害仍屬罕見。

COP23 會議於 2017 年 11 月 6 日起至 17

表 1. 2018 年全球氣候風險指數：10 個氣候風險最高的國家

排名 2016 年（2015 年）	國家	風險指數（CRI）得分	氣候風險死亡人數	每 10 萬人死亡人數	損失金額（百萬美元）	每單位 GDP 損失（%）	2015 年人類發展指數
1（40）	海地	2.33	613	5.65	3,332.72	17.224	163
2（14）	辛巴威	7.33	246	1.70	1,205.15	3.721	154
3（41）	斐濟	10.17	47	5.38	1,076.31	13.144	91
4（98）	斯里蘭卡	11.5	99	0.47	1,623.16	0.621	73
5（29）	越南	15.33	161	1.17	4,037.70	0.678	115
6（4）	印度	18.33	2,119	0.16	21,482.79	0.247	131
7（51）	中華民國	18.50	103	0.44	1,978.55	0.175	未列入
8（18）	馬其頓	19.00	22	1.06	207.93	0.678	82
9（37）	玻利維亞	19.33	26	0.24	1,051.22	1.334	118
10（21）	美國	23.17	267	0.08	47,395.51	0.255	10

來源：德國監測 Global Climate Risk Index 2018

日在德國波昂召開，全球來自 195 個國家的代表在會中為 2015 年巴黎氣候協議訂定實施細則，以達成在 21 世紀結束前，將全球升溫控制在攝氏 2 度以內的目標。正因為島國特別容易受極端氣候事件的影響，甚至有因上升的海平面而淹沒國土的可能，這次聯合國氣候會議特別邀請斐濟代表出任主席，希望國際社會注意氣候變遷問題的急迫性。

氣候變遷對人類健康已造成明顯且不可逆轉的影響

根據報告，氣候變遷已經對全球人類健康產生巨大的影響，影響傳染病的傳播，使數百萬人面臨空氣污染和熱浪，並大大降低勞動生產力。

英國醫學期刊《The Lancet》近期刊登一篇研究報告指出，氣候變遷對人類健康的影響明顯且不可逆轉，這種情況已經很嚴重，甚至減弱了現代醫療技術進步的效果。報告指稱：「過去 25 年來人類對氣候變遷的反應太過於遲鈍，已經危及人類的性命與生計。」全球氣溫上升已經改變風暴、洪水、乾旱、熱浪發生的強度與頻率，使人類身心健康都產生變化。2000 年至 2016 年，與氣候相關的災難就增加了 46%。

另外，根據 2017 年《健康與氣候變遷報告（Health and climate change）》的研究發現：氣溫上升加劇登革熱的蔓延速度，這是世界上疫情發展最快的疾病，1950 年代以來兩種病媒蚊傳播登革熱的能力分別增加 9.4% 和 11.1%。

與 1986 至 2008 年相比，2000 至 2016

年全球遭受熱浪襲擊的人數增加 1.25 億人，最高紀錄是 2015 年，約有 1.75 億人受到熱浪的傷害。

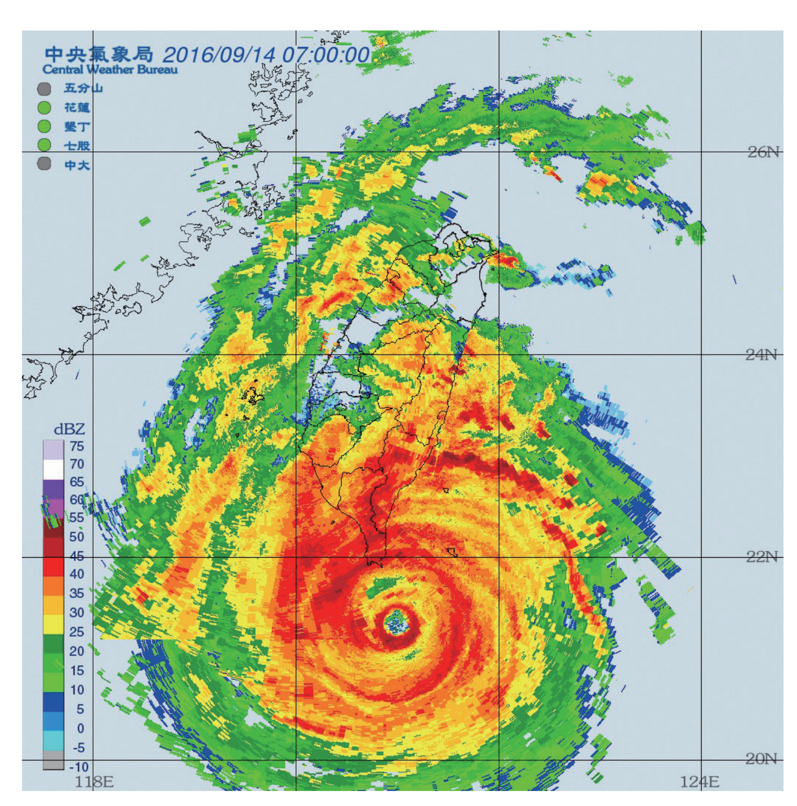
自 2000 年以來，氣溫上升導致全球農村地區的勞動生產率下降 5.3%，2015 年到 2016 年更大幅下降 2%。在 2016 年，超過 92 萬人因氣候因素而離開全球勞動市場。

自 1990 年來全球曝露於危險的空氣污染等級上升了 11.2%。美國的氣候變遷也愈來愈嚴重，與 1990 年相比，2016 年美國人接觸豚草（ragweed）花粉的時間更長，增加過敏的風險。

報告結果顯示，基於公共衛生而言，減少溫室氣體排放以減緩氣候變遷是必要的行動；而對公共衛生專家而言，預防疾病和傷害遠比治療更加人道、更為有效、也更符合經濟效益，因此歸根究底，對抗氣候變遷就是一種疾病防治的工作。

資料來源：

1. https://germanwatch.org/en/14638
2. https://www.taiwannews.com.tw/en/news/3296265
3. https://www.usatoday.com/story/news/health/2017/10/30/climate-changes-impact-human-health-already-here-and-potentially-irreversible-report-says/815123001/



▲ 2016 年 9 月 14 日侵襲台灣的超級強颱梅蘭蒂（圖：中央氣象局）

COP23波昂氣候峰會
從斐濟看到自己

文・編輯室



▲小朋友們在 COP23 開幕儀式中表演。圖片來源：UN climate change（CC BY-NC-SA 2.0）

2017 年 11 月 6 日至 17 日在德國波昂舉行的聯合國氣候變化框架公約（United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC）第 23 次締約國會議（COP23），是美國總統川普宣布退出《巴黎氣候協議》之後的首次大會，具有特殊意義。會議中各國代表致力於如何落實 2015 年簽署的《巴黎氣候協議》，在 COP23 期間，連近年一直處於戰亂的敘利亞也宣布加入，隨後，所有來自中東、北非的 22 個阿拉伯世界國家也都一起響應。如今放眼所有聯合國會員，只剩美國還自外於此，處於一種「眾人皆醒我獨醉」的孤立狀態。

COP23 是第一次由處於暖化危機最嚴重的島嶼國家「斐濟」主辦，使會議的討論面向更加多元，也比往年多了不少新話題，例如，未來將如何安置遭遇極端氣候威脅的島國居民？



▲中為斐濟總理貝尼馬拉瑪，擔任COP23的大會主席，右2為德國總理梅克爾，左2為法國總統馬克宏。圖片來源：UN climate change（CC BY-NC-SA 2.0）

如何善用原住民智慧減緩氣候變遷？以及「建築」和「交通」這兩大區塊每年合計排放了超過全球 4 成（與能源相關）的溫室氣體，這次會議也各自獨立成為熱門議題。近年再加上人口日益朝都市集中的趨勢，若能對症下藥，應可大幅提升減碳的效率。

大會結束後提出了一份「非正式要點」，在 2018 年 12 月 3 日至 14 日於波蘭卡托維茲市（Katowice，是歐洲污染最嚴重的城市之一）舉行的 COP24 大會，將以這份文件為討論基礎，順利的話可提出《巴黎氣候協議》的具體實施細則。

15 國加入反對使用煤炭聯盟

根據「全球碳計畫（Global Carbon Project, GCP）」所發表的《2017 年全球碳預算》報告發現，雖然 2014-2016 年燃燒燃料產生的二氧化碳曲線看似平穩，2017 年卻可能上升 2%，創下 368 億噸的歷史新高紀錄，為國際氣候社群投下了一枚震撼彈！因此，在 COP23 會議中，至少有 15 個國家加入了反對使用煤炭的聯盟。這個稱為「脫煤者聯盟（Powering Past Coal）」的組織是由英國、加拿大和馬紹爾群島發起的，長期目標希望在 2030 年之前全面淘汰燃煤發電，因為煤炭占全球溫室氣體的二氧化碳排放量 40%以上。

目前的成員國包括丹麥、芬蘭、義大利、法國、荷蘭、葡萄牙、比利時、瑞士、紐西蘭、衣索比亞和墨西哥，中國、美國、俄羅斯、德國等主要煤炭大戶還在觀望。近期目標為 2018 年的 COP24 舉行之前至少要有 50 個國家加入聯盟。

雖然中國和印度各自都提出了充滿企圖心的太陽能計畫，但是，對於退出巴黎氣候協議的川普政府來說，成立這個聯盟似乎是無言的批評。



▲波昂氣候峰會討論面向更多元。圖片來源：UN climate change

德國難以達標的尷尬窘境

德國為使為期兩週的會議盡可能的環保，編列 1.36 億美元（約新台幣 40.8 億元）預算，部分用來以自行車和電動巴士在不同場地之間接駁人員。並且，每個參與者都獲得一個瓶子來裝水，預計節省了 50 萬個塑膠杯。

但是，環保團體批評德國總喜歡把自己描繪成對抗全球暖化的領導者，卻仍然有大約 40%的電力來自燃煤電廠，這是碳排放量最高的能源之一；此外，德國高速公路在沒有限速的情況下也導致汽車產生較高的碳排放。如果未來德國不能達到自己設定的碳排放目標，專家認為這將會帶給世界其他地區非常不好的觀感。

展望 2020 的目標與落實

雖然 COP23 的成果有限，卻有個意外的進展，就是開發中國家加強了從現在到 2020 年之間的氣候行動，並列入條文，以督促已開發國家能盡快讓 2012 年至今一直未能生效的《多哈修正案（Doha Amendment）》生效。《多哈修正案》是《京都議定書》確立執行 2013 年至 2020 年的第二行動承諾期，目前只有 84 個國家確認成為締約國，還差 60 個國家才能生效。

隨著 2020 年《巴黎氣候協議》即將正式上路的時間壓力，按照目前各國提出的氣候行動，距離《巴黎氣候協議》將全球升溫控制在攝氏 2℃的目標顯然還有一大段距離。對此，聯合國打算更積極地配合「政府間氣候變化專門委員會（IPCC）」提出的 1.5℃科學實證報告，要求各國在 COP24 時提出更積極的減碳承諾。若要達成《巴黎氣候協議》，美國、歐盟、中國大陸、印度等主要排放源都得在未來幾年內做出崩崖式的減碳速度才能達成。

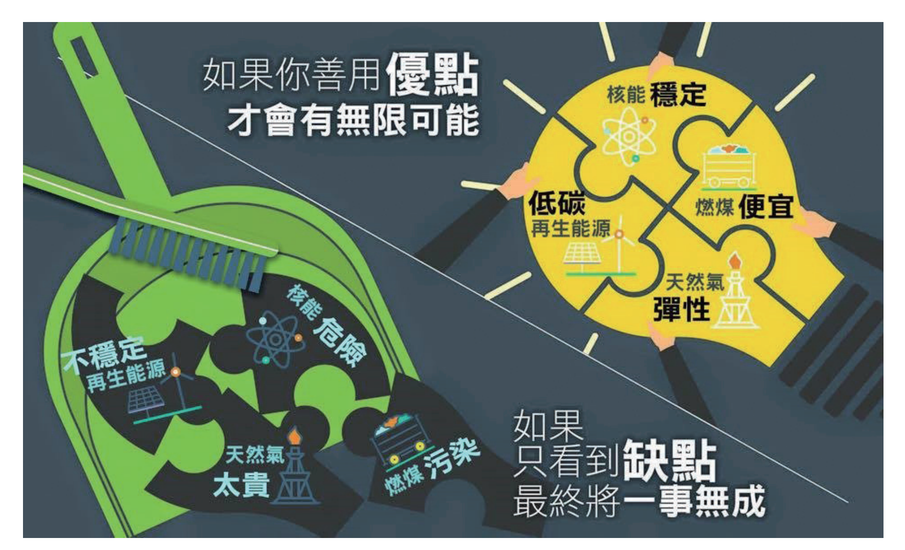
同樣身處島國的我們，不斷受到極端天氣災難的威脅，應和斐濟一樣有強烈的危機意識。當全球減碳競賽的遊戲規則和評鑑標準愈來愈明朗之際，從中央政府、技術單位、地方政府到民間環保團體，都該務實的面對能源減碳、綠色運輸、建築節能、城市與企業的自主行動等新興議題，為自己未來的安全生存環境，提昇足以因應極端氣候衝擊的能力。

資料來源：

1. https://www.c2es.org/content/cop-23-bonn/
2. http://e-info.org.tw/node/208604
3. http://www.independent.co.uk/news/world/cop23-latest-coal-alliance-countries-trump-rebuke-climate-change-paris-a8059086.html
4. https://www.washingtontimes.com/news/2017/nov/4/climate-change-5-things-to-know-about-bonn-climate/
5. https://energymagazine.tier.org.tw/Cont.aspx?CatID=&ContID=2867

尋求低碳、穩定的七彩能源

文・編輯室



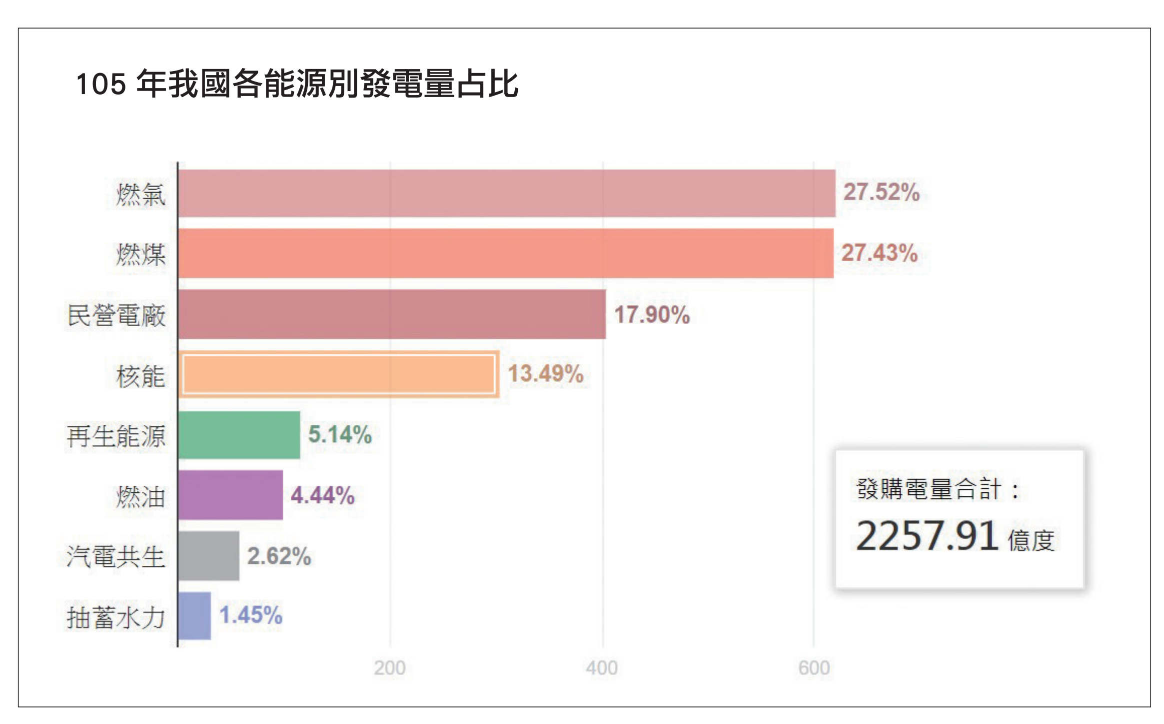
▲ 目前世界上還沒有完美的能源，所有的能源都有其優點和缺點（圖：經濟部）

發生 815 全台大停電之後，台灣民眾開始密切關注備轉容量的燈號顏色，若是供電吃緊的橘色燈號，媒體就會大幅報導，造成人心不安，擔憂隨時又會出現停限電的情形。時序入冬之後，大家以為可以喘口氣不再有停限電的威脅，不料，2018 年伊始，1 月 8 日就出現第一顆橘燈，緊接著 1 月 16 日出現第二顆，冬天就已如此，夏天該怎麼辦？備轉容量不足的陰霾已然籠罩在台灣上空。

紅橙黃綠藍靛紫 非關燈號顏色

香港城市大學校長郭位教授和台灣清華大學潘欽教授（兼低碳能源研究中心總主持人）合作撰寫的論文「從可靠度看七彩能源（A Reliability Look at Energy Development）」，強調各種發電所使用的能源——包括水，火（煤、油、天然氣），核，風，太陽，生物及其他等七彩能源，都各有優缺點，必須與環保、可靠度、可持續性與社會經濟福祉求得平衡，執政者在規劃能源政策時應根據國內的各種條件做出最佳的能源配比。本文也是少數由世界頂尖學術雜誌發表系統論述能源的論文。

作者指出，除了以適當儲能技術搭配再生能源外，做為低碳且可靠的綠能，核電是緩解



資料來源：台灣電力公司

空氣汙染與氣候變遷能源方案中不可或缺的一部分。我們目前面對的挑戰是避免誤用資訊，客觀、平心地分析七彩能源的利弊得失，兼顧而不偏廢。

2017 年 12 月 27 日郭位校長在台北發表的「生活面對的風險」演講中也強調，由於經驗與認知的不同，一般人受到嘩眾取寵的口舌導引，容易將高曝光度的風險看得嚴重，心中想像的風險遠大過實際狀況，對擺在眼前影響巨大的負面事故反而視而不見。

郭位校長以客觀的角度摘要出我們所面對的各種風險。他提出一連串疑問：恐怖攻擊與交通事故相比較，哪個更危險？交通事故與食安相比，哪個風險更大？我們平時是不是都敲錯了門、開錯了鎖，擔憂了錯誤的風險？處理危機必須分層次，大家對風險的評估應有清楚的概念，不要受媒體錯誤報導的影響。眼前什麼比化石燃料造成的危害更大？非理性、過度的擔憂才是生活中最不可靠的因子，是我們面對的最大風險！

全球目前有 20 多億人仍然生活在缺電、少水的環境中，不但無法享受我們視為理所當然的生活能源，平均壽命更只有 50 歲，相當於 1940 年代台灣人的平均壽命。可能有人會覺得，與我何干？回頭想想，這些人享用不到電力，卻必須被迫一併承擔火力發電所帶來 PM2.5 的大氣污染，他們何其無辜？郭位校長語重心長的說：「理盲的人不覺得汗顏嗎？」

依照聯合國世界衛生組織的數據，每年有 650 萬人死於空氣污染，其中 2/3 是在西太平洋和南太平洋地區的國家，如印度、中國和非洲。由於 PM2.5 的嚴重空污，如今肺癌已成

為台灣死亡率最高的癌症，已連續 6 年位居第一位。在 2013 年時郭位校長就曾指出，台灣因為核一、二、三廠取代了相當的火力發電，減少空汙為害，已拯救至少 6,000 人、若採用燃煤發電而死亡的生命。

郭位校長指出，雖然核電貢獻台灣 30 多年，至今並未有造成人員直接或間接傷亡的科學報告，可是對核電杯弓蛇影的恐懼心理，政府仍然訂出 2025 年全面廢核的目標；廢核之後，換來的可能是污染更嚴重、對環境破壞更大的火力發電。

七彩能源平衡不偏廢

現在台灣的備轉容量率遠低於 10%，隨時都有停電的可能，這已經是人人都知道的事情。全世界上沒有一個先進國家，會把備轉容量率調降得這麼低，所以 815 全台大停電，並不是一個意外。現在備轉容量率經常遠低於 10%，因此停電的機會一定比較大。此外，在所有電力系統的停電因素中，操作失誤的人禍永遠是其中一個原因，本來就應列入電力調度的考量。

郭位校長回憶，他小時候在台灣常常停電，燈泡也不是很亮，而且停電都是在暑假，對當時的人而言停電不是很意外的狀況，「就看人們願意忍受到什麼程度」。因為現代人生活品質比較好，只要稍微停電幾分鐘，就會感覺很不方便。

台灣的能源政策該怎麼走？他建議，能源政策必須同時考量環保、經濟福祉、可靠度與可持續性三者的平衡，並且妥善運用「七彩能源」的特性，多元化而不偏廢，務必使備轉容量率超過 10%。

日本的環境和台灣幾乎一模一樣，天災頻仍，也都沒有外界的電網資源，所以承受的風險都非常高，但是日本的七彩能源搭配得比較完善，沒有偏廢。郭位校長說，如果要能源環保，又要穩定可靠，經濟負擔勢必加重。

表 2. 各種能源的比較

項目 \ 發電方式	火力（煤）	火力（天然氣）	火力（重油）	核能	風力	太陽能	水力（川流）	水力（抽蓄）	地熱	潮汐[1]	洋流	可燃冰
每單位電量所產生的二氧化碳（克 / 度）[2]	1,001	469	758	16	46	22	4	4+	45	未知	未知	未知
每度電成本[3]（新台幣元）	1.22	2.68	4.35	1.15	2.5	9.44	1.7	4.08	未知	未知	未知	未知
致死量[4]	170,000[5]	4,000	36,000	90	150	440	1,400	1,400	未知	未知	未知	未知

註 1：台灣地熱目前仍屬實驗性能源

註 2：各種發電方法生產每單位電所產生二氧化碳排放量（維基百科）

註 3：各類成本分析表（民國 104 年，台電公司）

註 4：各種電力來源每 1 兆度電力的致死量 [各種發電方式的致死量]

註 5：世界平均值



▲目前全世界尚無完全零風險的能源（圖：台電阿凱臉書）

「能源匱乏，是全人類共同面對的困境，大陸同樣缺電，而台灣、香港極度浪費卻又缺乏完整的能源、環保、科技政策；就節能與研發新能源而言，我們大有努力的空間。」——摘自郭位著《核電關鍵報告》。

郭位，為美國國家工程院及台灣中央研究院院士，中國工程院及俄羅斯工程院外籍院士，現任香港城市大學校長。曾任職世界能源重鎮的美國橡樹嶺國家實驗室高級管理團隊，並出任權威的可靠度專業期刊 IEEE Transactions on Reliability 主編 16 年。他是福島事故後不久，第一位應邀訪問福島的外國安全可靠度專家，他所做的事故後評估至今都一一應驗。

資料來源：

1. http://zh.nuke.wikia.com/wiki/ 各種能源的比較（簡表）
2. https://udn.com/news/story/6656/2645257
3. https://market.cloud.edu.tw/content/junior/life_tech/tc_jr/life_tech03/304/304source16.htm
4. https://www.taipower.com.tw/content/new_info/new_info-b31.aspx?LinkID=8
5. 成本相關資料說明──台灣電力公司（100 ～ 104 年）

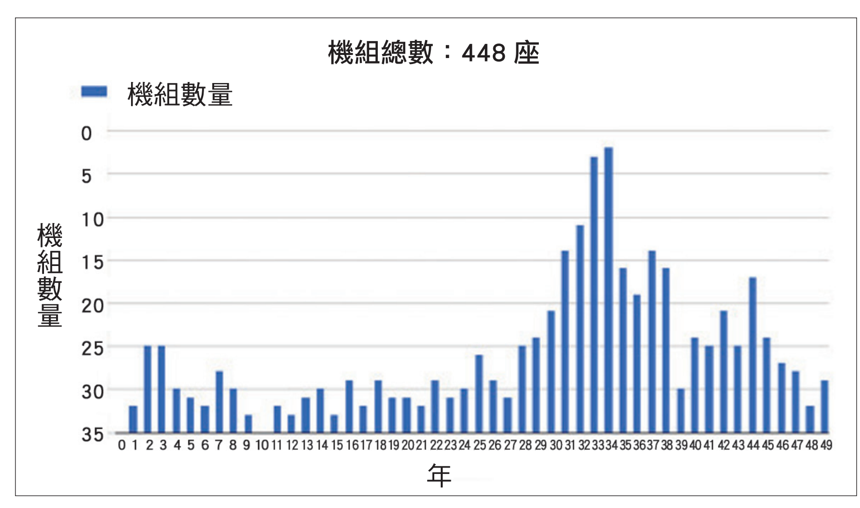
世界各國除役拆廠作業規劃與廢棄物處理現況

文・編輯室

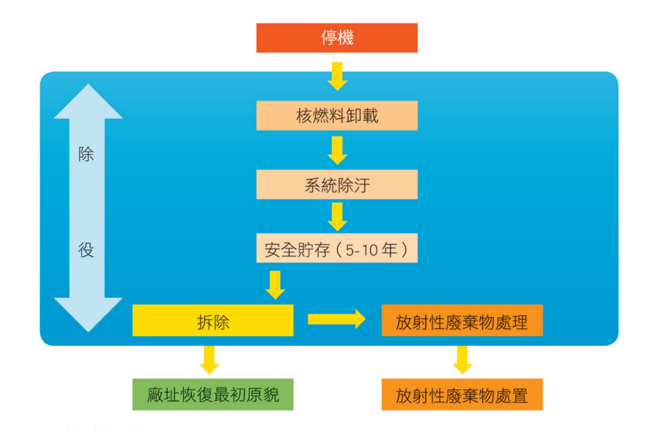
根據《華爾街日報》的報導，人類將在未來的這幾年內面臨到最大的一波核電廠拆廠潮，因為全球約 450 座的核電廠有超過一半都將到達 40 年的運轉年限，需進行除役。拆解一座核電廠除了需要一段很長的時間，以及最高 15 億美金的花費，除了需要分階段的拆除廠房以及反應爐之外，還要替廠內受放射性汙染的設備（包含重達數百噸的反應爐壓力槽）進行除汙，並視其情況進行回收再利用；因拆解作業所產生的放射性廢棄物則需依其放射性高低來決定其處置方式。電力公司必須依照所簽屬的合約，依合約內容要求來完成拆廠作業，歸還土地，並妥善的處理與處置放射性廢棄物。

一般來說，核電機組在除役前需先準備除役計畫、環評報告等前置作業，上呈管制機構獲頒除役執照後，才可以開始依照除役計畫來進行除役工作。各核電廠營運廠商可向主管機關申請的除役執照，國際原子能總署（IAEA）依反應爐拆除方式的不同將其分為 3 種，分別是「立即拆除（DECON）」、「安全貯存（SAFSTOR）」，以及「就地掩埋（ENTOMB）」。

以美國為例，根據美國法規規定，核子設施除役的期限為 60 年，所以廠商所採取的除役方式以「立即拆除」與「安全貯存」這兩種方式為主要，這兩種除役方式所需要的執行年限分別介於 5-10 年以及 30-50 年間。而「就



▲截至 2018 年 1 月，全球運轉中核電機組的運轉年齡（圖片來源：PRIS, IAEA）



▲一般核電機組除役過程

地掩埋」顧名思義，即直接把核設施（含所有的放射性物質）於該處掩埋封存，沒有設立年限，未來亦不需要進行拆除，車諾比核災後蘇聯即採用此種方式來封存該電廠，但美國核能管制委員會（NRC）至今仍未核發這類除役執照。

從符合經濟效益的角度來考量，立即拆除當然是最好的選擇，但也有核電廠必須考量到用過核燃料與放射性廢棄物的貯存地點尚未完善，而選擇安全貯存的方式，來爭取多一點時間，再進行核子設施的拆解，對一些由政府以公務預算來籌措除役經費的核子設施，延遲拆除可讓政府有較多的時間來籌措經費，但延遲拆除則有增加後代子孫負擔的缺點，各有其利弊。電力公司會根據各電廠的情況來選擇不同的方案，也有不少同時採取這兩種除役方式，來替電廠內不同的設施進行除役作業的例子，最常見的即是反應爐區域採用安全貯存，其他區域則進行立即拆除。

在反應爐停機後，需先將用過核燃料移出燃料池、進行廠內放射性汙染的調查，並進行設備與系統的除污、清洗管線，範圍涵蓋了反應爐容器、加壓器、蒸汽產生器、冷卻水系統、抽水幫浦等以管線接連在一起的設備。這個階段約需要 5-10 年的時間，可以除掉整個電廠超過 99% 的放射線，反應爐區域也從這個階段開始進入安全貯存期，待剩餘的放射線降至安全許可值之後，工作人員就可以進入管制區內進行拆除作業。

拆除核電機組的工程浩大，由於電廠占地甚廣、設施龐大，加上有些設施、區域受到不同程度的放射線汙染等原因，需要事先詳細的規劃，分階段的利用切割、甚至爆破等技術來拆除核電機組。拆除作業主要可分成 3 個階段，第一階段為反應爐區域之外輔助性設備的拆除，第二階段為反應爐區域的拆除，第三則為剩餘最外層建築物的拆除。

國際原子能總署所制定的 3 種除役方式

立即拆除（DECON，或 Immediate Dismantling）	在核子設施關閉後立即替含有放射性物質的設備與建築進行解體拆除，或替這些區域進行除汙至符合美國核管會所制訂的解除管制標準，再進行移除。
安全貯存（SAFSTOR，或 Deferred Dismantling）	也稱作「延遲拆除」，核子設施在關閉後進入一段「安全貯存」的時間，讓設施內的放射性物質在監管下自行衰變、較無放射性危害後，再進行除汙與拆除。
就地掩埋（ENTOMB，或 Entombment）	也稱作「長期封存」，將受放射性汙染之反應爐（或設施）長期封存於如混凝土等完整的結構體中，不需分解爐體，直到該處的放射性物質衰變到可以不受限制使用的地步。

資料來源：美國核管會 NRC

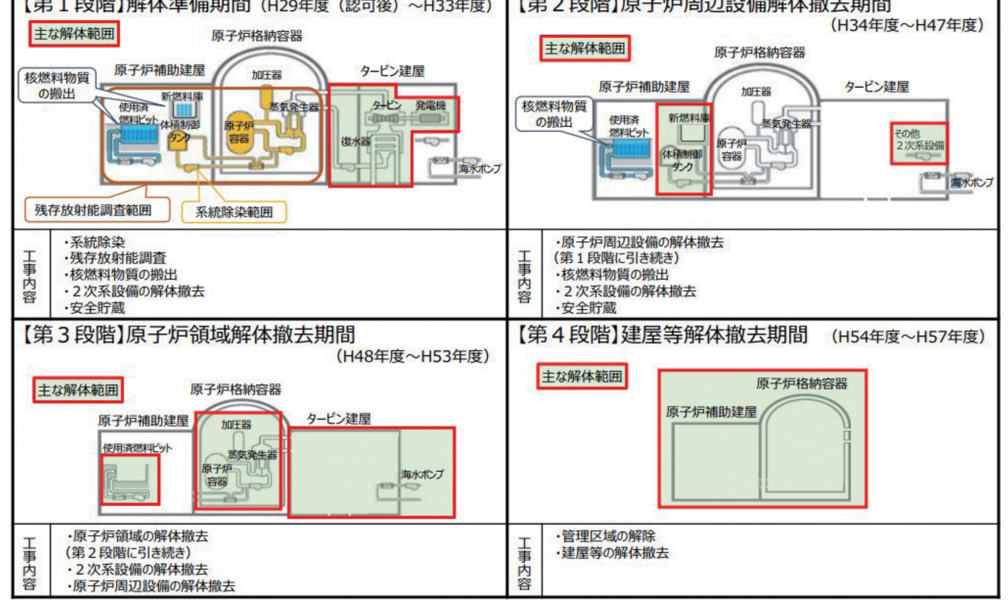
第一階段所拆除的區域為大型輔助性設施，包含渦輪增壓器本體、發電機、燃料池、熱交換器、蒸氣配管、排氣設備、供水設備、冷凝設施等，同時反應爐安全貯存。待這些輔助性設施拆除至一個段落、反應爐完成安全貯存後，即可開始第二階段拆除反應爐建築內的反應爐本體、壓力槽、蒸汽產生器等設施，以及外圍剩餘較小型的輔助性設施。最後則是外層建築物以及管制區域外設備、機器的解體與拆除，並解除區域管制。

▲ 日本浜岡核電廠 1、2 號反應爐外圍需拆除的輔助性設施主要位於右側渦輪機建築內（圖片來源：中部電力公司）

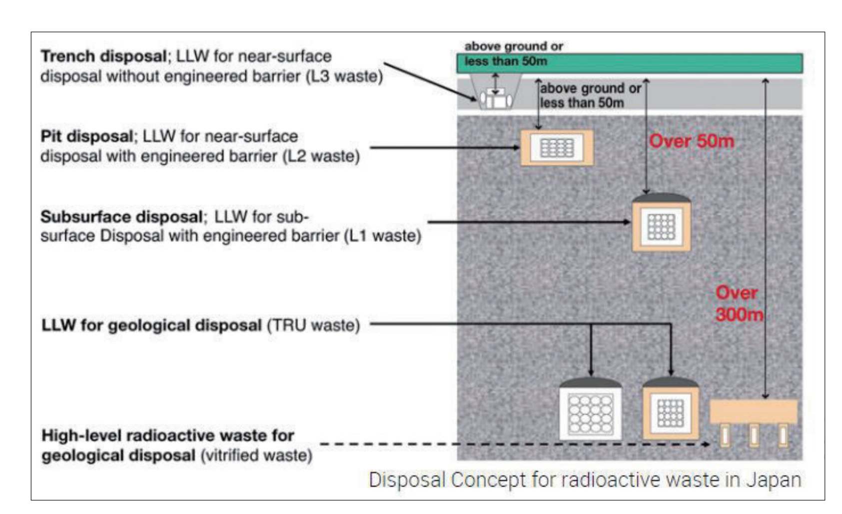
放射性廢棄物的處理

國際原子能總署依照放射性活度的高低，將核電廠所產生的廢棄物分成 6 種，分別為高放射性廢棄物、中放射性廢棄物、低放射性廢棄物、極低放射性廢棄物、極短半化廢棄物（Very short lived waste，主要是研究與醫療用途之廢棄物，不適用於核電廠除役），以及豁免廢棄物（Exempt waste）。國際上大部分核

○美浜１， ２号機の廃止措置は大きく４段階に分け、約３０年かけて実施します。



▲日本美浜核電廠 1、2 號機組拆除計畫，紅色區塊為每階段拆除範圍（圖片來源：關西電力公司）



▲日本不同放射性廢棄物之最終處置概念（圖片來源：日本原燃 JNFL）

電使用國家都參考國際原子能總署的分類來制定各國放射性廢棄物的分類方式，因此雖然各國有各自的分類系統，但其實大多都大同小異。

核子設施內部屬於高放射性廢棄物的如用過核燃料，以及用過核燃料再處理過程中所產生的玻璃固化廢棄物等，由於放射性非常高，在完成中期貯存後需要適當、穩定的深層地質處置場才可進行最終處置。

在反應爐運轉期間，會有少部分的放射性物質自反應爐周圍組件直接、或間接的接觸到核電廠其他組件，這些組件在拆除後都必須列為「中、低或極低放射性廢棄物」。由於放射性活度濃度還是有些差距，這些中低放射性廢棄物也會採取不同的最終處置方法。放射性極低的低放廢棄物只需儲存在地面開挖之溝渠式（Trench）貯存設施內即可，監管時間約 50 年；放射性較低的低放廢棄物則需要放在比溝渠稍微深一點的地下水泥窖式（Pit）貯存設施，監管時間約 300 年；放射性較高的低放廢棄物就必須要貯存在地下深 100 公尺處的中深度（Subsurface）水泥窖式處置設施中，監管時間長達數百年。

屬於放射性較高之低放廢棄物為核燃料控制棒與其他反應爐爐心內部的組件，放射性較低的有過濾器、廢液、使用過的設備工具等，放射性極低的則是像自建築物或輔助性設備切割、拆解下來的混凝土碎石、土壤與金屬。在反應爐除役期間，這些廢棄物在拆解下來後會分區暫時貯存在核電廠內，日本敦賀 1 號機的情況是將放射性較高之低放射棄物貯存在反應爐建築物內，放射性較低的會貯存在渦輪增壓器建築內，放射性極低的則會在裝桶後集中放置在電廠室外的空地，最後才會依照不同廢棄物的處置方式分別運送至適當的最終處置設施。

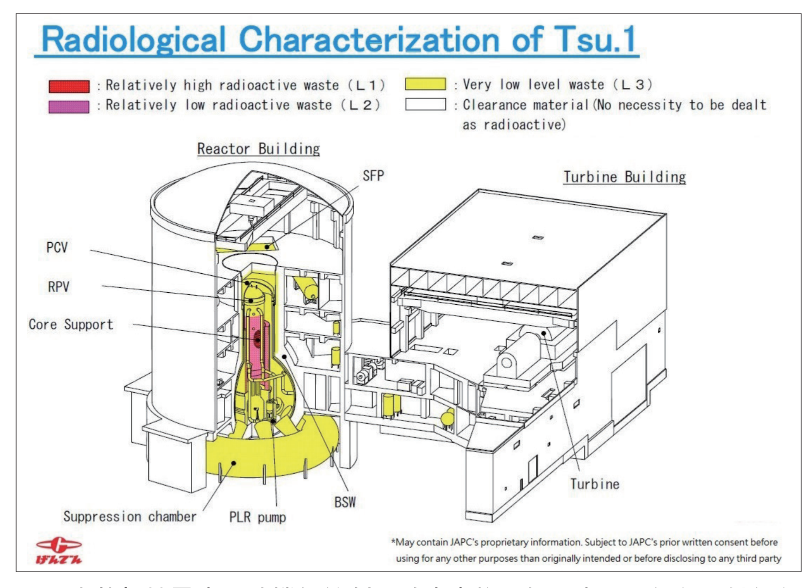
至於自電廠內其他地方拆解下來的廢棄物，需依各國管制機構規定的相關「放射性廢棄物管理辦法」，進行放射性檢測，廢棄物的放射性活度或比活度需符合規定的標準值才可以「解除管制（Clearance）」並釋出，即「豁免廢棄物」。豁免廢棄物不需要任何放射性防護管制措施，後續的處理與使用都與非放射性廢棄物相同，並可視情況進行回收再使用，如桌椅、磚頭等，以減少廢棄物體積。

而不符合放行標準的廢棄物則會依其放射性活度濃度將其歸列入放射性廢棄物體系並進行管理，在輻射影響衰退至可忽略程度後才可解除管制。另外，若廢棄物含有的是已存在於自然界的天然放射性核種，這種廢棄物也不會被列為放射性廢棄物，亦不需要進行管制。

目前全球使用核能的國家幾乎都依照國際原子能總署 2004 年所發布的「排除、豁免及解除管制概念之應用」導則來制定相關管制辦法，該導則公布了各種核種的標準建議值，也

提到輻射影響小於天然背景值的 1% 至可忽略程度則可視為不需管制的輻射劑量。國際間除了美國認定解除管制標準並非急迫性法規，大部分核電使用國家都依照國際原子能總署所建議的數值來制定符合該國國情與環境的解除管制法規，並在核電廠除役期間嚴格執行。

那除役一座核電廠所產生的廢棄物比例又是多少呢？前面提到的廢棄物都是電廠「管制區內」的放射性廢棄物，除了放射性廢棄物之外還有非放射性的廢棄物，「管制區外」的工業用廢棄物則都屬於非放射性廢棄物。據了解，核電廠除役後超過 95% 的廢棄物是屬於可解除管制、外釋的廢棄物，只有不到 5% 的廢棄物屬於低放射性廢棄物。



▲日本敦賀核電廠 1 號機組管制區域廢棄物分類示意圖，紅色、粉紅色、黃色區塊分別為中、低、極低放射性廢棄物，白色則是不需視為放射性廢棄物的部分。（圖片來源：日本原子力發電公司 JAPC）

以 110 萬瓩壓水式反應爐（PWR）為例，根據德國 VGB 協會的數據，除役過程中自電廠管制區所產生的廢棄物容積約有 15.7 萬公噸，其中有 14.3 萬公噸如混凝土結構體的廢棄物可以直接解除管制，剩餘的 1.3 萬公噸裡面也僅有 3,000 噸必須進行最終處置；另外，還有 500 噸來自除汙作業的二次廢棄物也需送至最終處置場。而根據日本原子力後端推進中心（RANDEC）的估算，若加上管制區外的廢棄物，需要進行最終處置的中低放射性廢棄物占除役總廢棄物僅約 1-2%。

結語

目前國際間成功完成除役的國家並不多，僅有美國、日本與德國，必須借鏡這些國家除役與廢棄物處理的經驗，結合我國的技術並且不斷改良，找出適合我國核電廠除役的方式，才可安全的達到「非核家園」的目標。

註：請勿轉載、使用本文所刊登之圖片。

資料來源：

1. Wall Street Journal. “How Are Nuclear Plants Decommissioned?”
2. World Nuclear Association. “Nuclear Decommissioning: Decommission nuclear facilities.”
3. VGB PowerTech. “Waste disposal for nuclear power plants.”
4. RANDEC. “Management of Demolition-Waste From Decommissioning of NPP in Japan.”
5. 日本原子力発電株式会社《原産会員フォーラム—「国内の個別事例」》

離福島越遠，越害怕福島

文・張文杰



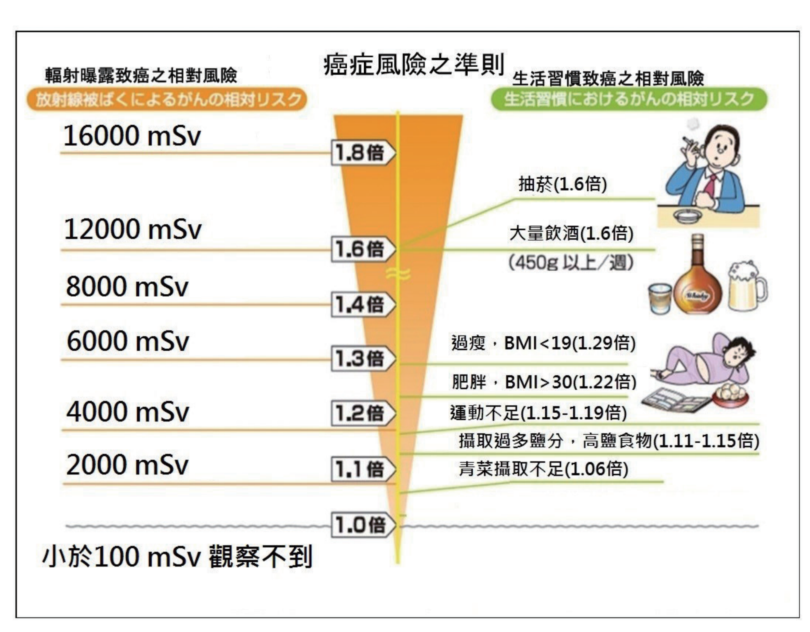
筆者於 2017 年 11 月 24 日參加台灣電力公司舉辦的「知輻人生」國際論壇，是為讓國人瞭解日本福島核災中輻射對人們的真實影響，台電公司邀請日本東京大學醫學部附屬醫院放射線科中川惠一教授來台演講「輻射影響真相探討」，以及邀請京都大學台灣籍醫學博士生廖彥朋先生演講「媒體如何影響我們的認知」。

中川醫師分享了一個小故事，他本人每個月會去福島瞭解當地居民的健康狀況並與居民對談，但他認為這樣還不夠，就讓他的放射科研究團隊中一個年輕人暫時搬到福島當地居住，實際去體驗當地居民的生活情況。過了一段時間，這位年輕人竟然要辭職，因為他愛上了一位福島當地的女性，要和她結婚，並且已經在福島當地醫院找到放射性醫療的工作。沒想到就這樣從東京到福島暫住，變成在福島落地生根。

中川醫師另外分享一份民意調查──「日本各縣市對福島的印象為何？」民調結果顯示，離福島越遠的縣市，越害怕福島。反過來說，離福島越近的縣市，因為越瞭解福島當地的情況，所以越不害怕福島、對福島的印象越好。

中川醫師的背景

來自東京大學醫學部的中川惠一醫師是放射線治療的專家，在這領域的研究已經超過



▲圖 1. 輻射曝露劑量與不良生活習慣致癌率的比較（資料來源：日本獨立行政法人國立癌症中心）

30 年，目前他的團隊將近 20 人，包括放射線醫師、技師、醫學物理師與心理治療師等，在福島核災發生之前日本安倍總理就曾到他的研究室參觀。中川醫師也致力於癌症與放射線治療的科普與知識推廣，同時身兼日本厚生勞動省（相當於我國的衛福部）的「癌症對策推動協議會」委員、「癌症相關知識普及啟發懇談會」主席、「癌症檢查企業 ACTION」顧問委員會議長，以及「日本放射線腫瘤學會」理事。

中川醫師說他跟核能發電完全沒有關係、也不熟，但自從福島核災後，銫 137、貝克、西弗等字眼就不斷交錯並出現在報章媒體上，絕大部分的民眾根本搞不清楚這些名詞，而人類的天性是對於不明就理的事物會感到恐懼；可惡的是，抓住這點不斷煽動民眾的人，造成現今「風評被害」（即謠言傷害）的受害者不斷增加。他身為放射線治療的專家，認為有義務站出來幫助民眾瞭解放射線，破除相關的謠言，並解救風評被害的受害者。11 月底這幾天在日本是假期，但是中川教授犧牲他的假期來到台灣，就是希望台灣民眾更加瞭解福島與輻射的真相。

低劑量輻射對人體的影響小到無法檢驗出來

中川醫師現場對台下聽眾問了一個問題：「男性和女性哪個比較容易罹癌？」答案是男性，日本男性的罹癌率比女性高出約 40%，主要原因是生活習慣較差。

中川醫師說因為日本原爆的關係，所以有非常大量（幾十萬人）的案例可研究低劑量輻射對人體的影響，而且這也是最有用的數據。從原爆的案例來看，在 100 毫西弗（mSv）以下並沒有發現罹癌率增加的情況，在 100 毫西弗左右，罹癌率會增加 0.5%，高於 100 毫西弗以後，罹癌率會隨曝露劑量等比例增加。

中川醫師強調，原爆的案例是在短時間內接受到輻射曝露，但福島核災並非如此，舉例

來說，被 400 度的油淋到一次是很危險的，但是被 40 度的油淋到 10 次是沒有危險的。所以一般低劑量輻射的定義為 200 毫西弗以下，這也適用於福島核災的情況。

然而，低劑量輻射對人體的影響太小了，小到無法檢驗出來，和不良的生活習慣相比，根本算不了什麼，擔心低劑量輻射對人體的影響，還不如花精神去改善不良的生活習慣，例如多運動、體型的維持、注意肉及鹽類的攝取、攝取充足的蔬菜水果、避免抽菸（包含二手煙）和大量喝酒…等，如上頁圖 1 所示。

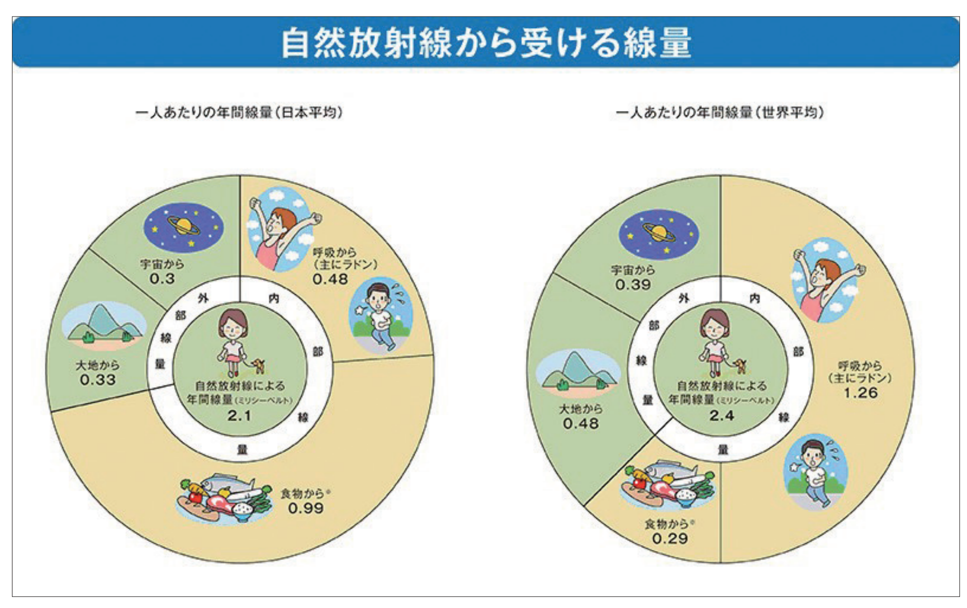
另一位講者廖彥朋先生也表示，民眾常說我們不知道低劑量輻射對人體的影響，因為不知道它的影響，所以不要接受低劑量輻射。但重點應該是，低劑量輻射對人體的影響小到無法檢驗出來，無法檢驗出來的影響根本不值得我們去擔心才對。

5 毫西弗的體內曝露與體外曝露 哪一個較可怕？

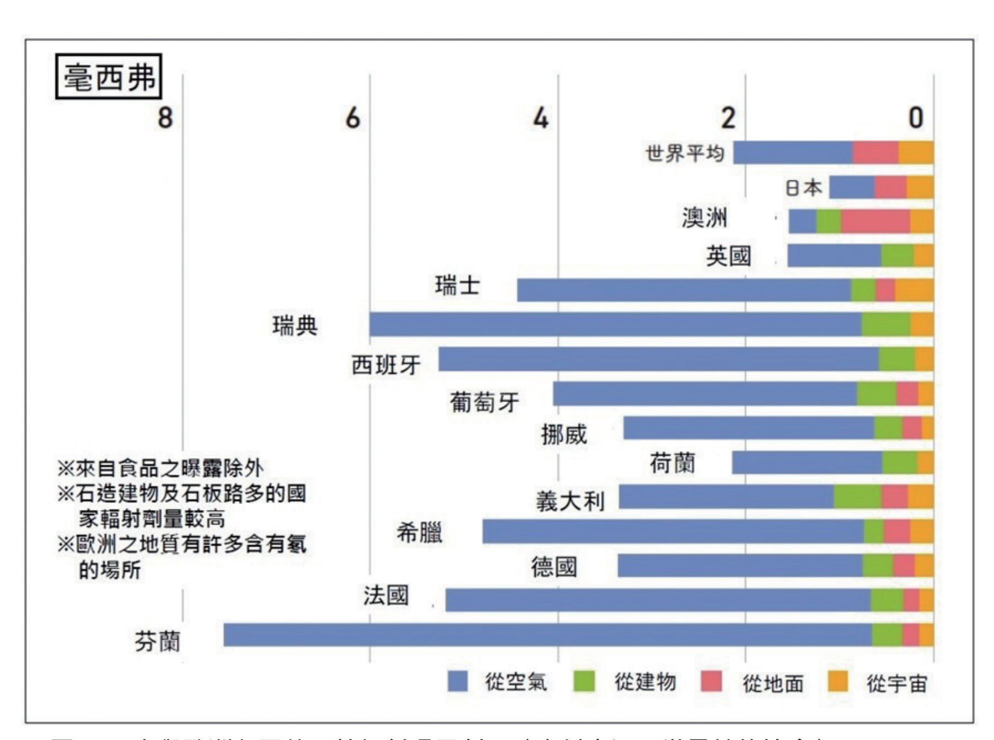
中川醫師又問台下聽眾一個問題：「5 毫西弗的體內曝露與 5 毫西弗的體外曝露相比，哪一個較可怕？」台下的聽眾中認為 5 毫西弗的體內曝露比較可怕的人數明顯比較多。中川醫師表示這就是一般民眾常見的迷思之一，在體內進行曝露，這聽起來就是比較可怕，但是西弗這單位的定義是「人體接受輻射曝露的影響」，已經把體內和體外曝露的差異考慮進去，所以答案是一樣的。

中川醫師表示只要記得西弗這個單位就好了，貝克之類單位就忘了它吧，跟民眾溝通時，越簡單越好，只要讓民眾記得西弗是指人體接受輻射曝露的影響就好，所以接下來演講中的輻射單位也只會出現西弗。

筆者有時會用「1 公斤的棉花和 1 公斤的鐵塊，哪個比較重？」來做比喻，一般人都知道答案是兩者一樣重，因為大家都知道公斤是表達重量的單位，就算受到棉花和鐵塊的既有



▲圖 2. 日本與世界每人年平均自然輻射曝露劑量的比較（資料來源：日本電気事業連合會）



▲圖 3. 日本與歐洲各國的天然輻射曝露劑量（資料來源：世界核能協會）

印象而答錯，只要一提醒兩者同樣是 1 公斤重就能迅速瞭解正確答案，這和中川醫師的講法有異曲同工之妙。

日本人的自然輻射年曝露劑量低於世界平均值

中川醫師表示，日本每人的自然輻射年平均曝露劑量約是 2.1 毫西弗（包含福島核災影響），全世界每人的自然輻射年平均曝露劑量約是 2.4 毫西弗，如圖 2，因為其他國家或地區、地質條件不同的緣故，所以劑量較高。

中川醫師進一步舉例說明，例如歐洲地質有許多含氡氣的場所，所以歐洲許多國家的自然輻射年平均曝露劑量超過 3 毫西弗，如圖 3 所示，但沒有任何研究或數據顯示北歐各國居民的罹癌率比較高。

筆者補充說明：日本在發生福島核災之前的自然輻射年平均曝露劑量是每人約 1.5 毫西弗，如圖 3 中的數據。發生福島核災之後，在食物中接受輻射曝露劑量上限定為 1 毫西弗，所以自然輻射年平均曝露劑量中的食物部分就提高到 0.99 毫西弗，整體因此上升到 2.1 毫西弗，如圖 2 所示。但是這只是假設的最高值，日本食品絕大部分已經回復到核災前的水準，實際上應該接近核災前 1.5 毫西弗的水準。

廖彥朋先生表示，日本某些溫泉地區的自然輻射背景值較高，甚至標榜有輻射療效的「放射性溫泉」，例如日本鳥取的三朝溫泉，當地以「世界有名的放射性溫泉」為宣傳並引以為傲，命名為「藥師の湯」，每年有將近兩百萬人次的民眾去泡放射性溫泉。根據調查，三朝地區的自然輻射背景值約為日本全國的 3 倍，當地民眾的癌症死亡率，不但沒有比較高，反而只有全國平均的一半。

表 1. 日本與其他國家每人每年看診次數的比較

國家	次數 / 年
日本	13.4
英國	5.9
美國	4
瑞典	2.8

（資料來源：OECD Health Data, 2010）

當地大學曾做過實驗，把民眾分成 3 組，一組依照平時的日常生活作息，另一組常去普通浴池泡澡，最後一組常去泡具有較高放射性的三朝溫泉，結果顯示最後一組的健康情況明顯較佳。另外也有醫學研究證實，常泡較高放射性的三朝溫泉，有提高新陳代謝、增強免疫力和自身治癒力的作用，不愧是「藥師の湯」呀。

日本人的醫療輻射年平均曝露劑量是世界第一高

日本人的醫療輻射年曝露劑量約 4 毫西弗，約是世界平均值的 4-5 倍。日本人的醫療和自然輻射年曝露劑量合計約 6 毫西弗，雖然高於世界平均值，但是中川醫師強調，世界上有許多背景輻射很高的地區，例如拉姆薩的 260 毫西弗 / 年，不過都沒有觀察到這些地區民眾的罹癌率較高。

為什麼日本人的醫療輻射年曝露劑量是世界第一高？中川醫師說，因為日本的國民保險無論何時均可接受檢查，所以日本每人每年看診次數是歐美的好幾倍，如表 1，所以日本人的醫療輻射年平均曝露劑量是世界第一高。照電腦斷層掃描（CT）的次數也遠遠多於其他國家，占了世界總和的 1/3。

照一次 CT 影像的輻射劑量約 7 毫西弗，是胸部 X 光 0.05 毫西弗的 140 倍，中川醫師表示，在擔憂曝露於放射線的同時，對於「自己主動曝露在放射線中」而成為世界第一，這

表 2. 演講前，對放射線有怎樣的印象？（可複選）　單位（%）

	可怕	罹癌率會變高	可能影響未來出生的小孩	日常生活出現障礙	對放射線不太瞭解
男性	21.2	51.9	17.3	19.2	21.2
女姓	36.0	62.0	56.0	12.0	6.0
合計	28.4	56.9	36.3	15.7	13.7

表 3. 演講後，對放射線有怎樣的印象？（可複選）　單位（%）

	可怕	罹癌率會變高	可能影響未來出生的小孩	日常生活出現障礙	對放射線不太瞭解
男性	21.6	21.8	7.8	15.7	4.0
女姓	14.0	27.5	0	8.0	5.9
合計	17.8	21.8	4.0	11.9	4.0

表 4. 福島縣居民體內曝露劑量的調查結果

地區		累積劑量				合計
		1 毫西弗以內	1 毫西弗	2 毫西弗	3 毫西弗	
縣北	福島市	47	0	0	0	47
縣中	郡山市	53	0	0	0	53
	田村市	2	0	0	0	2
會津	會津若松市	2	0	0	0	2
	西會津町	358	0	0	0	358
	會津美里町	9	0	0	0	9
相双	南相馬市	5	0	0	0	5
	楢葉町	17	0	0	0	17
	富岡町	108	0	0	0	108
	双葉町	44	0	0	0	44
	浪江町	8	0	0	0	8
磐城	磐城市	4	0	0	0	4
合計		**657**	**0**	**0**	**0**	**657**

個矛盾令他感到困惑。中川醫師專攻的放射線治療，在攝護腺照射的劑量可高達 8 萬毫西弗，而全身照射的劑量達到 4,000 毫西弗也是有的。

中川醫師秀出兩張圖，一張是肺部的 X 光片，另一張是 CT 影像，從 X 光片上幾乎看不出有顆癌症腫瘤，但是從 CT 影像中就可明顯看出有癌症腫瘤的存在，這是一般民眾都可分辨出來的。由此可知 CT 的必要性，但是並不需要頭痛就馬上去做 CT 檢查。

福島縣民的累積曝露劑量在 3 毫西弗以內

中川醫師每個月都會去福島縣，曾去過公立養老院、松川臨時住宅、當地學校，以及屬於「限制居住區」的飯館村，去深入瞭解當地居民健康狀況並與居民對談或演講。

中川醫師分享他去飯館中學的經驗，除了對全校師生進行放射線教育、進行問卷調查，還和師生一起進行放射線實地測量。在進行放射線教育之前，師生對放射性的瞭解很少，所以有許多不必要與錯誤的擔憂，在講課之後就有明顯的改善，如表 2 和表 3 所示。最大的改變是女性原本有 56%認為可能影響未來出生的小孩，在演講後全部都不擔心了，這讓中川醫師感到非常欣慰。

根據中川醫師提供的福島縣民健康管理調查資料顯示，從 2011 至 2013 年年底為止，一共調查了福島第一核電廠周遭的 46 萬縣民，來自福島核災的體外曝露累積劑量在 3 毫西弗以內的比例占了 99.3%，其餘 0.7%也大都在 15 毫西弗以內，這種程度的輻射曝露劑量不

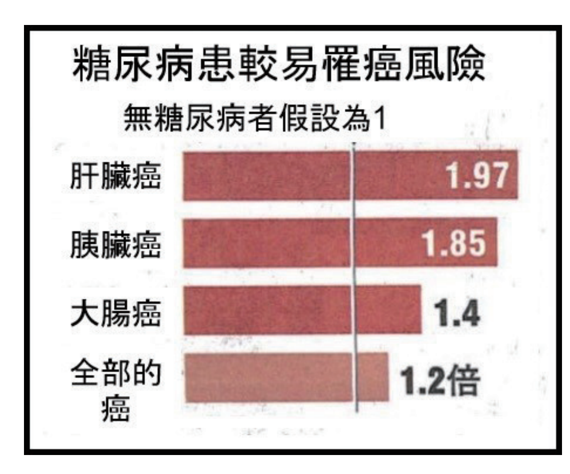
可能對罹癌率有影響。

福島縣民所接受到的體內曝露劑量則幾乎是零，主要原因是食品方面實施了極為嚴格的限制與檢查。以福島米為例，在 2015 年就已全部都在標準值以內了，中川醫師說他現在只吃福島米，因為只有福島米通過最嚴格的檢查。福島米釀的福島酒，在日本全國新酒評鑑中，已連續 5 年獲得日本第一的金牌賞。喜歡喝酒的中川醫師表示，他也很喜歡喝福島酒。

在 2017 年 9 月份最新的調查結果指出，對福島縣各地居民進行體內曝露劑量的抽檢，如上頁表 4 所示，表中的劑量是預計成人在 50 年內的累積劑量、小孩是到 70 歲為止的累積劑量。可以看出結果全部都在 1 毫西弗之內，可說已經回復為發生核災前的水準。

因害怕輻射罹癌而避難，但癌症數卻因避難而增加

中川醫師秀出一張飯館村避難者在福島核災事故發生前後的村民體檢結果，與輻射有關的罹癌率都沒有增加，反而是高血壓、糖尿病、脂質異常和肥胖的比例有明顯的增加。這種結果在南相馬市也有看到類似的結果，南相馬市避難者在 2014 年的糖尿病患者比例為 2008-2010 年的 1.6 倍，如圖 4 所示，而糖尿病患者的整體罹癌風險提高了 2 成，這是相當於接受 2,000 毫西弗的水準，這問題比福島核災的輻射嚴重多了。



▲圖 4. 糖尿病患者與無糖尿病者相比的罹癌率

圖 4 是來自日本糖尿病學會和日本癌症學會的研究，這兩個學會也表示，防止糖尿病及癌症的訣竅是飲食均衡、良好的運動習慣、不抽菸與少喝酒。但中川醫師說，因為避難的生活水準比之前來得差，被害風評等因素所帶來的心理壓力又增加不少，生活習慣因此惡化，導致糖尿病等疾病有明顯的增加。

日本讀賣新聞曾有一篇報導，內容是日本全國和福島未成年小孩的肥胖比例，日本全國 5-17 歲的未成年小孩肥胖比例大都在 5-10% 之間，而福島未成年小孩從 5-17 歲中的每一個歲數，肥胖比例都比全國來的高，大約高出 3-5%。這情況也與害怕輻射導致減少戶外活動有關，所以解除當地居民的輻射疑慮遠比減少輻射汙染還重要。

害怕甲狀腺癌比甲狀腺癌本身更困擾福島居民

核災釋放出的碘 131 是引起甲狀腺癌的原因之一，在車諾比核災中，甲狀腺癌也是世界衛生組織唯一確定可歸因於核災輻射所造成的民眾健康影響，約有 6,000 個甲狀腺癌案例發生，死亡案例為 15 人，而且都是發生在兒童身上。所以福島核災發生後，福島兒童的甲狀腺癌情況一直是世界所注目的焦點。

中川醫師提供一份 2017 年 3 月 31 日的最新資料顯示，福島縣 18 歲以下的縣民約有 38 萬人，包含核災 1 年內出生的孩童，檢查結果有 191 人罹患或疑似是甲狀腺癌。福島醫學大學與長崎大學整理出以下幾點原因，他們發出聯合聲明認為「不太可能是福島核災的輻



射所造成的影響」，應該是屬於遺傳因子變異的結果：

1. 甲狀腺癌的罹患率與日本其他縣市的發生率相比，沒有太大差異。
2. 輻射劑量遠小於車諾比核災：福島避難者的甲狀腺等價劑量 99%在 30 毫西弗以內，98%在 20 毫西弗以內（屬於低劑量輻射）；車諾比避難者的甲狀腺等價劑量 99%超過 100 毫西弗，兩者天差地遠。
3. 甲狀腺癌的形成至少需要 5 年的時間，福島縣發現的案例是集中在核災後 1-4 年，從時間推論並非由核災輻射所引起。
4. 詳細檢查腫瘤情況與切片分析，是偏向屬於遺傳因子變異的結果，而非由輻射引起。
5. 福島核災和車諾比核災的甲狀腺癌年齡組成相差很大，車諾比幾乎都是 5 歲以下的兒童，福島則是以 10 多歲的青少年為主。由此可判斷車諾比是由輻射引起，但福島是屬於遺傳因子變異的結果。
6. 車諾比核災中的甲狀腺癌男女比例是 1:1。福島核災中的甲狀腺癌男女比例是 3:7，這和非輻射影響的比例相近。

筆者在問與答時間向中川醫師提問：「美國輻射防護與度量委員會（NCRP）主席說過，從研究輻射效應的角度來看，沒有理由繼續在福島進行這種全面性的甲狀腺癌調查，因為福島核災的輻射劑量是如此微不足道。當然，決定要不要繼續調查，有來自社會的壓力、健保和日本政府責任等因素。而 NCRP 主席建議，如果日本政府要繼續調查，需要非常清楚地說明，這不是一項科學研究，而是屬於回應民眾的關注所進行的健康調查。如果有甲狀腺癌被極敏感的超音波裝置檢查到，要清楚地告訴他們，這是由遺傳因子或其他因素引起的，不是

由輻射引起的。請問中川醫師的看法是？」

中川醫師回應說，他也反對繼續進行這種全面性的甲狀腺癌調查，但是如同 NCRP 主席所說，日本政府是為了回應民眾的關注，會被迫繼續檢查下去，不太可能停止調查。他的建議是若檢查發現有甲狀腺癌之後，不需要接受治療的情況就不必治療，因為絕大多數都是不必接受治療的程度；但是目前的案例大都是再接受不必要的治療，然而治療伴隨的副作用反而會傷害到他們，比不用治療的甲狀腺癌本身的傷害還嚴重。

這讓我想起之前在某本書中看過的一段話：癌症健檢的重點不是在「是否罹癌」，而是在於「會不會因罹癌有不良的影響」。換言之，癌症健檢的目的是為了降低癌症的致死率，不是為了找出沒有生命危險或不良影響的細微癌症並治療。

結語

台北市雙和醫院的影像醫學部主任陳啟仁擔任此次論壇的與談人，他表示看到中川醫師提供的福島縣民健康管理調查資料時，感到非常訝異，原來福島當地輻射劑量這麼低微，以他的專業判斷可說對健康完全沒有影響。如果有機會的話，他非常樂意去福島訪問或旅遊。陳主任還開玩笑的說，如果價格可以便宜一點的話會更樂意。



廖彥朋先生也分享他在福島核災發生後這幾年，對於媒體的觀察與交流經驗。他認為當媒體與社會塑造了一個「任何人都有權利談論某個特定議題」的氛圍時，專業就不再是重點了，「你是誰」才是重點。他舉例，有位堅決反核的朋友問他福島食品安不安全？廖先生花了半小時詳細地說明，最後他的朋友說：「我想你說沒問題，那就是沒問題了。」所以有時民眾需要的未必是真相，而是「信賴」。

廖彥朋先生強調解決輻射的疑慮非常重要，因為這樣才能根除意識形態，一般人更容易相信他所喜愛的、認同的或崇拜的對象或朋友，而不是和自己生命不曾有任何連結的專家，所以我們要極積的影響周遭的朋友。但別忘記北風與太陽的故事，有時溝通的方式該用「填補內心空缺」來取代「教導」。

中川醫師為這次的演講簡單做個總結：1. 低劑量輻射的影響非常微小，不良的生活習慣影響卻大多了。2. 福島核災的輻射沒有導致罹癌率增加。3. 由於避難和過度的診斷，導致福島縣內的罹癌率增加。4. 如果不瞭解癌症和輻射的關係而恐慌，將造成不幸。

最後，中川醫師說他到各地去演講，至今還是會聽到聽眾問他福島安全嗎？ 福島食品可不可以吃？中川醫師聽到這些問題都很感慨且遺憾，因為還是有許多民眾不瞭解福島的真相，他希望大家能幫忙把福島真相傳遞出去，別再讓風評被害繼續傷害著福島人。

（本文作者為清華大學工程與系統科學系研究助理）

核子醫學的輻射是好還是壞？

文・編輯室

許多民眾聽到「輻射」總是會有疑慮，不過，一聽到是醫院裡利用輻射檢查身體，或是治療疾病的核子醫學，有的民眾會認為這是好的輻射，對健康有益。一聽到福島事故的輻射外洩，便認為核電廠的輻射是壞的輻射，對健康有害。這些都是對輻射錯誤的認知，輻射沒有好壞之分，只有劑量高低，對人體影響大小之別。

在我們生活的環境中，很多物質都具有放射性，例如岩石、土壤、食物，來自太空的宇宙射線等，甚至人體內的許多組成元素，這些物質對人體可造成一些放射性的劑量，我們稱為背景輻射。因為它們來自自然的環境中，在台灣這種背景輻射值每年可高達200毫侖目（毫侖目是測量輻射劑量的單位[1]）。自然的背景輻射是無害的，地球上某些地區的背景輻射可高達1,000毫侖目，而平常我們每照一張胸部X光則會對骨髓產生大約10毫侖目的劑量。

接受核子醫學檢查時，體內各器官或多或少會接受到劑量，但劑量不高，不會發生不良輻射效應危害健康的問題。負責診斷的醫師，為病人作核醫檢查之前，都會判斷病人接受核醫檢查的正當性。當利大於弊時，才會建議檢查，因此醫療曝露在輻射防護上不設限，醫師為了解病情而需要檢查時，應接受檢查。

核子醫學是利用具有少量放射性的藥品，在合理安全的範圍內，作診斷及治療的一項醫學專科。這些具有放射性的藥品，會分布在人體不同的器官組織內，有些會聚集在腫瘤癌組織內，有些會積聚在甲狀腺、腎臟、肝臟、骨頭等。因此某個部位有腫瘤，或某個器官有病灶，可在掃描檢查的過程中被診斷發現，再作積極的治療。



▲加馬刀

在檢查的過程中，使用的放射性藥品會造成極少的輻射劑量。核醫科醫師或技術師，與接受檢查的人是比較接近的；而他們在一般的檢查中，每次可能接受的輻射劑量約0.05毫侖目，和背景輻射相比，這只不過是萬分之幾的背景輻射。

其他的護理人員與家屬那就更少了，因為放射性藥品的放射性是隨時間成級數減少的，



▲乳房x光攝影巡迴車

而且減少得很快。一般而言，幾個小時之後就只剩一半；一天之後就可能少於背景輻射。因此對一般人而言，輻射劑量就只有醫師的 1/10 以下，也就是背景輻射的萬分之一以下，這個量可能比出國旅遊搭乘飛機，接受到宇宙射線的量還少。這期間病人所接受的劑量不多，所以不須擔心。檢查後，建議病人多喝水，多增加排尿次數，以便降低膀胱及膀胱周圍器官的劑量，排尿 6-7 次後，體內放射性藥物的量約可減低為原來的一半。

因此，不用擔心與病人接觸。對於身邊的小孩，基於輻射劑量愈少愈好的原則，在檢查之初幾個小時，還是應避免抱小孩抱太久。過一、兩天之後，更是等於零劑量。只有少數特殊的檢查項目，才會有特殊的注意事項。對於懷孕的婦女，也類似對待小孩的方式。

一般而言，病人接受的劑量，比一些 X 光檢查，例如血管攝影、電腦斷層掃描等還少得多。在科學及醫學領域裡，這些檢查造成輻射性傷害的機率相當的低，約 10 萬分至 1 萬分之幾，但是卻對疾病診斷、提昇醫療水準、延長人類壽命、維護健康有極大的幫助。

註 1：1 毫侖目＝ 0.01 毫西弗

資料來源：

1. 彰化基督教醫院核子醫學科
2. 針對一般人的核子醫學診療安全問答 杜慶燻



▲電腦斷層治療機

俄羅斯將協助埃及建立**首座核電廠**

文・編輯室

埃及在去（2017）年底正式的與俄羅斯簽訂了埃及首座核電廠的建設合約，將在埃及地中海沿岸的 El Dabaa 核電廠廠址建造 4 部由俄羅斯設計的第 3+ 代反應爐 VVER-1200。這份合約是在俄羅斯總統普丁當時至埃及首都開羅進行訪問時，與埃及總統賽西一同簽屬，這也是兩國政府在 2015 年底時協議、宣布將會合作建立埃及第一座核電廠後所正式簽訂的建設合約。內容除了設立 4 部機組之外，俄羅斯政府將負責提供這份耗資 300 億美元的建設計畫其中的 85%、等於 25 億美元的資金做為貸款，剩下的則來自埃及私人投資者。

俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）表示，El Dabaa 1 號機預計將在 2026 年投入商轉，這份合約還包含了埃及首座用過核燃料專用貯存設施的設立，以及用過核燃料貯存容器的提供，而這些用過核燃料將會運送回俄羅斯進行再處理。俄羅斯國家原子能公司也將在該電廠開始運轉後的前 10 年協助其運轉與維護，整個核電廠建設計畫預計將於 2028-2029 年間完成。

而俄羅斯國家原子能公司除了將協助埃及開發核能基礎建設之外，還將提高這些設施的在地化，即讓數十家埃及公司參與此電廠建設計畫，首部機組的在地化水平預計為 2 成，後續建立的機組將會逐漸的提高在地化的比重。

另外，俄羅斯國家原子能公司也將協助埃及培訓核能相關工作人員與提升民眾對核能的接受度，未來相關工作人員將會在俄羅斯與埃及接受培訓，也會有大量的埃及籍學生至俄羅斯學習核能相關專業。

根據路透社的報導，有著近 1.04 億人口的埃及，期望國家能源結構能更多樣化，El Dabaa 核電廠不僅是為了分擔埃及國內對能源的需求，埃及也將其視為未來可出口能源的一個管道。

資料來源：

1. Nuclear Engineering International. “Egypt signs contract for El Dabaa.”
2. Reuters. “Egypt to sign contracts for nuclear power plant during Putin's visit: sources.”

日本公布最終處置場**潛在場址區域圖**

文・編輯室

因日本經濟產業省（METI）於去（2017）年下半年公布高放射性廢棄物最終處置場「科學特徵圖」，這張圖沒有準確的指出潛在處置場場址，但明確的標示出擁有「適合」設立處置場地質條件的區域。

日本在完成對現有政策的評估後，於 2015 年 5 月通過高放射性廢棄物最終處置基本政策，其中包含了公布全日本的地質科學特徵，在「發展處置場為當代世代的責任」的前提下推動處置場的建設，擁有這樣的資訊可幫助取得公眾與各地區政府的諒解與合作。

基於分別在 2016 年 8 月與 2017 年 3 月進行的兩輪公眾評論中所蒐集到的意見以及其他資訊，經產省自然資源與能源諮詢委員會下屬的地質處置工作小組，在 2017 年 4 月時公布了一份《全國地質處置科學特徵圖要求與準則概要（Summary of Requirements and Criteria for a Nationwide Map of Scientific Features for Geological Disposal）》報告，經產省則根據這份報告編製了這份「科學特徵圖」，並標示出可能滿足處置場所需地質要求、且在未來能夠展開詳細選址檢測的地區。這份地圖公開於日本放射性廢棄物管理專責機構──原子力發電環境整備機構（NUMO）的官方網站。

經產省表示，為了確認一個地方是否適合建立處置場，必須考慮到該區域的各項科學特徵，包含火山運動與斷層活動等自然現象的影響、地下岩盤的強度、土壤溫度與地下水酸鹼度等，儘管這些數據有絕大部分均屬於已公開的資訊，未來仍需要對具體場址展開詳細的勘測。

這份地圖基於上述之要素將日本以 4 種顏色來區分，靠近火山或活動斷層而不適於設立處置場的區域為橘色，含有煤礦、石油、天然氣、金屬或其他礦物資源、未來有可能進行開鑿等的區域則為銀色，也不適合在這些區域設立處置場；被認為適合作為處置場場址的區域則用淺綠色來表示，若是位在海岸線 20 公里以內則使用較深的綠色，表示從使用船舶運輸的角度來看這些區域也是合適的。

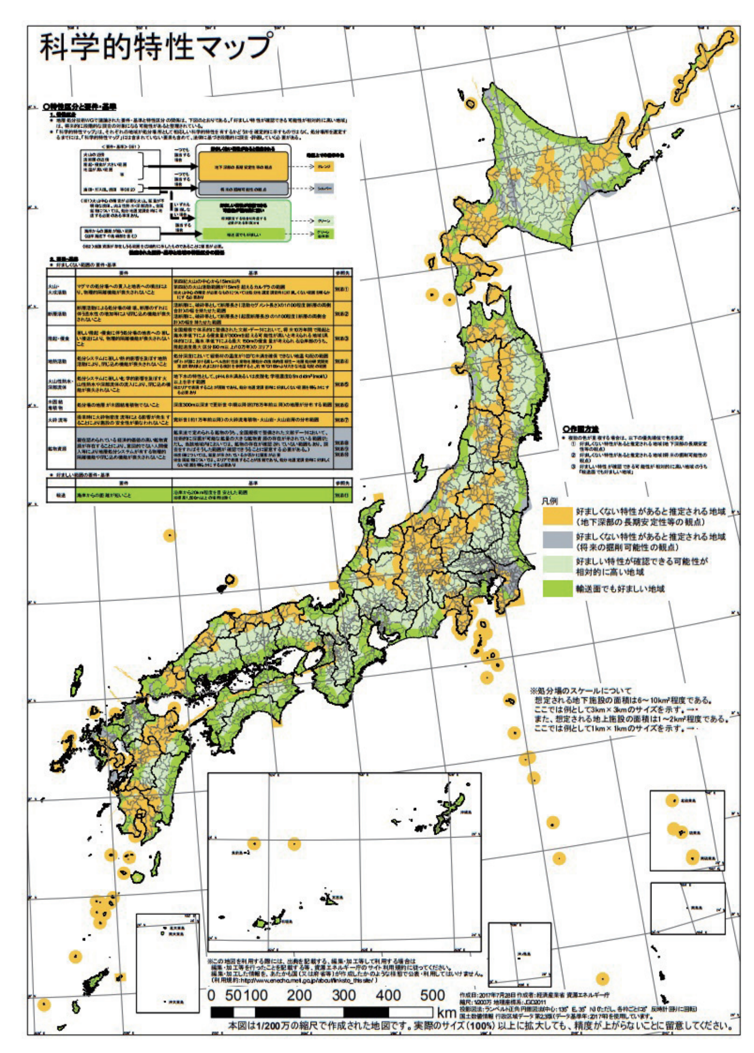
不過，經產省表示，這份地圖並沒有「明確的」指出每個地區是否具備適合設立最終處置場的科學特徵，必須根據相關法律的規定執行選址程序，並將那些沒有被列入科學特徵的要素也列入考量。日本原子力產業協會（JAIF）理事長高橋明男對此也表示，這份科學特徵圖的公開是向通往實現地質處置漫長道路所邁出的第一步，但若要選擇出最終的場址仍需要進行更詳盡的場址調查。

日本原子力發電環境整備機構預計將於

2025 年左右開始進行選址作業，處置場則預計將於 2035 年開始運轉，而造價 3.5 兆日圓（約 1 兆新台幣）的建設成本則會由各電力公司以 1 度電收取 0.2 日圓的方式來累積，並支付給該機構。截至 2015 年，日本已累積了 1 兆日圓的後端基金，這個數字不包含政府向各地方所支付的經濟補償。

資料來源：

1. World Nuclear News. “Japan maps potential repository areas.”
2. The Japan Times. “METI maps out suitable nuclear waste disposal sites.”



▲ 日本經濟產業省就高放射性廢棄物最終處置場場址所公布的科學特徵圖，淺綠色區塊為潛在適合區域，靠沿岸的綠色區塊為「更適合」之區域，橘色與灰色區塊則為不適合建設處置場場址的地區。（圖片來源：日本經濟產業省）

日本東京電力公司**首度獲准重啟旗下核電機組**

文・編輯室



▲ 柏崎刈羽核電廠 6、7 號機組(圖片來源:東京電力公司)

位於日本新潟縣的柏崎刈羽核電廠 6、7 號機組在去(2017)年底通過日本原子力規制委員會(NRA)的審查,成為東京電力公司(TEPCO)在福島事故後首度獲准重啟的兩部機組,也是福島事故後日本首次有沸水式反應爐(BWR)通過新制審查。

在日本核電機組申請重啟的過程中,電力公司必須陸續向管制單位原子力規制委員會提出:反應爐改裝計畫、提高電廠強度建設計畫,以及完工後的安全審查等申請,每個計畫都需要獲得管制單位批准才可進行。東京電力公司在 2013 年 9 月時就已向原子力規制委員會提出於柏崎刈羽 6、7 號機組進行安全審查的申請,這兩部 135.6 萬瓩的進步型沸水式反應爐建於 1990 年代晚期,為日本首批獲准重啟運轉的沸水式反應爐。

原子力規制委員會在去年 10 月初首先批准了這兩部機組通過新制審查的草案,隨後即公布該草案來徵詢公共意見,並於 12 月底宣布正式批准兩部機組的安全審查報告。東京電力公司也為此對原子力規制委員會委員以及所有牽涉到安全審查的工作人員,在這段長達 4 年多的審查過程中所付出的心力表示感謝,表示未來東電也會繼續謹慎地做好後續的工作。

柏崎刈羽核電廠在 2011 年並未受到東日本大地震與海嘯的影響,但發生於 2007 年的新潟縣中越沖地震導致電廠內部受損,雖然沒有機組受到影響還是全數進入停機的狀態,進行電廠抗震的加強,在福島事故後則與日本其他核電機組一樣接受安全檢查。

東電強調,他們絕對會盡到復興福島的責任,替福島第一核電廠進行除役且提供賠償,同時努力改善核能安全,進一步提高柏崎刈羽核電廠的安全與可靠性。不過,新潟縣知事米山龍一對此表示,在福島核子事故調查工作尚未結束之前,他都不會考慮讓該電廠重啟,相關調查作業預計將耗時 4 年;另外柏崎市長櫻井雅浩也要求東電至少替該電廠 1 部核電機組進行除役,作為重啟 6、7 號機組的條件,可見在徵得地方政府同意這方面仍還有一段路要走。未來若這兩部機組重啟,預計每年將可替東電帶來 1,000 億日圓(約 270 億新台幣)的

收入。

大飯核電廠 1-2 號機除役，3-4 號機重啟

日本福井縣知事西川一誠於去年底在與日本經濟產業大臣世耕弘成進行通話時，告知他同意重啟縣內大飯核電廠 3、4 號機組，並召開記者會表示，他是在全面的考量市、鎮議會的意見，以及在營運廠商關西電力公司向他表達不會在福井縣內設立用過核燃料中期貯存設施後，所做出的回應。

大飯 3、4 號機組在 2011 年福島事故後曾於 2012 年 8 月時獲准重啟運轉，但這兩部 118 萬瓩的壓水式反應爐在 2013 年 9 月時再度停機，接受日本原子力規制委員會的安全檢查，若要重啟則需要加強電廠設備，達到福島事故後所啟用的新制規範的標準，通過最終安全審查後才可重啟。而關西電力公司在 2013 年下半年就已向原子力規制委員會提出進行加強電廠設備工程的申請，現在則著手申請重啟前的安全審查，確保完工後的安全對策、設備符合當初提交的工程計畫。

日本核電機組在通過原子力規制委員會最終審查後還需要獲得地方政府的同意才有機會重啟，不過最終決定權仍在中央政府。目前大飯市議會以及福井縣政府均已同意重啟該兩部機組，關西電力公司也期望能在今年中之前重啟運轉。

另一方面，在福井縣政府同意大飯核電廠 3、4 號機重啟後約一個月的時間，關西電力公司也宣布該電廠 1、2 號機將除役，不會重啟運轉。大飯 1、2 號機組均為 117.5 萬瓩的壓水式反應爐，分別自 1979 年初與年底開始運轉，兩部機組運轉年齡至今均屆齡 40 年，這也將是日本在福島事故後，首次有裝置容量超過 100 萬瓩的核電機組邁入除役。

關西電力公司表示，他們是考量到在新制審查標準啟用後需要採取的措施因此做此決定，若要達到原子力規制委員會所要求的標準，所需要的改良費用預計將高達 8,300 億日圓（約 2,250 億新台幣）。關西電力公司已將此決定告知大飯市與福井縣政府，未來將以安全為首要來替兩部機組進行除役作業。

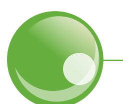


▲ 大飯核電廠 3、4 號機組（圖片來源：關西電力公司）

日本 42 部核電機組中，目前僅有 5 部通過新制審查並重啟運轉，分別為川內 1、2 號、伊方 3 號以及高浜 3、4 號機組，獲得原子力規制委員會重啟許可的除了上述 4 部機組之外，還有高浜 1、2 號、美浜 3 號以及玄海 3、4 號機組，其他還有多部機組的重啟申請仍在審查當中；確定除役（含除役中）的機組則一共有 16 部。

資料來源：

1. World Nuclear News.“Kashiwazaki-Kariwa units pass safety inspections.”
2. Nuclear Engineering International.“Japan"s NRA approves Kashiwazaki-Kariwa 6&7.”
3. World Nuclear News.“Fukui governor approves restart of Ohi units.”
4. World Nuclear News.“Kansai opts to retire older Ohi units.”



美國將續建自 1978 年以來首座新的核電廠

文・編輯室

美國喬治亞州公共事業監管機構在最近宣布，該委員會對是否續建進度落後與預算超支的沃格特勒（Vogtle）核電廠 3、4 號機組擴建計畫進行投票表決，結果為全員一致通過支持完成該電廠建設，成為美國自 1978 年以來首部新建的核電廠。

喬治亞州公共服務委員會（Public Service Commission）在去（2017）年 8 月時就已經開始考慮由喬治亞電力公司等數家公共企業公司所提出的建議，重啟該電廠 3、4 號機組、2 座 100 萬瓩機組的建設工程。這項提議是電力公司根據原承包商西屋電氣公司在去年 3 月申請破產後進行全面評估所得的結果。該委員會先前已對續建計畫目前 5 億 4,000 多萬美元的支出做出了查核，並批准了喬治亞電力公司對續建計畫提出的時程表與成本預測，認為其「合理」。

委員會主席懷思（Stan Wise）表示，他們並沒有推卸責任，「燃料的多樣化以及兩部機組未來長期可回收的利益是我們做出這個決定的主要原因」。喬治亞電力公司董事長鮑爾斯（Paul Bowers）對此結果也表示：「完成沃格特勒 3、4 號機組建設工程的決定對本公司的未來以及美國本身都非常重要，喬治亞公共服務委員會在做出這個複雜和困難的決定的期間，突顯了其領導者的地位，並認定該電廠的擴建是確保美國『擁有可負擔的、可依賴的能源，來支撐今日以及未來經濟成長』的關鍵」。

喬治亞州州長以及美國能源部長均對此決策表示讚賞與支持，聲稱這個決定將替整個國家帶來正面的影響。美國總統川普主張核能為美國綜合能源策略一部份，能源部在去年 9 月就已經替該建設計畫提供了 37 億美元的有條件貸款為其擔保，但當時即使有了這樣的貸款仍不足夠。該兩部機組的建設計畫自 2012 年以來深陷成本超支的困境，最初預計的成本僅 140 億美元，至今已拖延數年並超支數 10 億美元，而總承包商西屋電氣公司在去年 3 月申請破產等於替該計畫再度覆上一層不確定性，而公共服務委員會現在做出的這個決定，可說是為美國核工業的未來帶來一絲曙光。

資料來源：

1. The Washington Times. “Georgia regulators say nuclear reactors, nation's first since 1978, will be finished.”
2. World Nuclear News. “Georgia PSC approves Vogtle completion.”

核能新聞

文・編輯室

國外新聞

加拿大開始最終處置場場址鑽孔調查

加拿大核子廢棄物管理組織（NWMO）已於最近完成首次最終處置場候選場址鑽孔取樣，鑽探深度達 1,000 公尺，地點位在安大略省 Ignace 以西約 35 公里處的 Revell Batholith 岩層。Ignace 為加拿大安大略省 5 個用過核燃料深層地質處置場候選場址之一，加拿大核子廢棄物管理組織表示，他們的研究團隊接下來將開始岩石樣本的分析，該研究團隊由地質科學、環境、工程與處置場安全等相關專家所組成，未來這一年也將持續觀察這個地上鑿孔，並開鑿更多。據該組織說法，若需要於該處地質種類（結晶岩）設置處置場，預計深度需要達到地下 500 公尺。

除了 Ignace 之外，目前加拿大核子廢棄物管理組織也在安大略省其他 4 個候選場址進行各種研究，希望能在 2023 年前選出最合適的場址。鑽孔調查作業首先會一個接一個的開鑿 3 個，隨後與該地區的居民一起確認將作為首選的潛在場址，再進行更廣泛的鑽探。加拿大核子廢棄物管理組織於 2010 年開始尋找合適的場址，過程從登記感興趣的場址名單中陸續縮小研究範圍，最初一共有 21 個城市請求進行初步評估，在第二階段被選中的有 11 個地區，其中有 5 個在安大略省。首選場址必須要有合適的岩層，還需要有意願的主人，只有當地居民願意配合，處置場建設計畫才得以繼續下去。

Nuclear Engineering International, 2018/01/23

日本福島第一核電廠發現更多核燃料殘渣位置

東京電力公司（Tepco）近日公布了福島第一核電廠 2 號機組內部的調查結果，表示探測器成功地捕捉到一次圍阻體內部燃料殘骸的影像，該部機組在 2011 年福島事故時因爐心熔毀遭到嚴重的破壞。這次的調查是在反應爐容器側面開孔，向內導入前頭裝有攝像機的導管型探測器，這種小型且強化抗輻射的探測器具有識別底部沉積物與燃料組件的能力，由東芝與國際核能除役研究機構（IRID）一同開發。

探測器拍攝到的圖像顯示，部分的燃料殘骸因熔毀自爐心掉落至 2 號機一次圍阻體的底部，另外還有已生鏽並被不明物質覆蓋的控制棒驅動器底部。東電發言人表示，攝像機捕捉到的影像顯示爐心熔毀造成巨大的破壞，掉落的燃料殘骸與破碎的反應爐組件堆積在一起，他們仍需要時間來分析哪些部份是燃料殘骸。在這之前僅有同電廠的 3 號機組在去（2017）年 7 月發現核燃料殘骸的影像。東電對此表示，這次在 2 號機使用機器進行探測的結果，對確認在事故當時熔毀、重組的燃料殘骸的位置與狀況，幫助非常大。但東電也提到，因事故導致最初設計給機器人的通道遭到堆積物堵塞，以及高輻射水平將破壞電子設備等，都是

進入該區域將面臨的挑戰。

Nuclear Engineering International, 2018/01/23

立陶宛獲准建造中低放廢棄物最終處置場

目前除役中的立陶宛伊格納林納（Ignalina）核電廠，已於最近獲得國家核電安全稽查單位（Vatesi）的許可，將設立與運轉一座近地表的中低放射性廢棄物最終處置場。立陶宛國家核安稽查單位表示，所頒發的許可允許處置場計畫使用經獲准的設計與初步安全分析結果報告來開始該處置場的工程。伊格納林納核電廠於 2015 年 5 月提交建設申請，該處置場建設計畫包含了設立 36 個放置廢棄物容器的鋼筋混凝土窖，工程將分成 3 期。第一期的建設工程預計在 2023 年完成，將持續接收廢棄物一直到 2038 年伊格納林納核電廠除役完成。

立陶宛在加入歐盟時的條件是必須永久停止運轉伊格納林納核電廠兩部蘇聯時代的 RBMK 反應爐，兩部機組分別於 2004 年 12 月與 2009 年 12 月關閉，電廠在 2016 年初表示已完成近 1/4 的拆除工程，除役所產生的廢棄物會貯存在處置場一直到除役作業完成。該電廠除役工作的資金來自歐洲復興開發銀行（EBRD）所管理的國際捐助者基金，截至 2016 年 9 月時該基金就已獲得超過 7.5 億歐元（約 263 億新台幣）。

Nuclear Engineering International, 2017/12/05

美國將投資 3,000 萬美元支持進步型核能技術

美國能源部長佩里（Rick Perry）於最近發表了一份資助先進核能技術發展的機會聲明（Funding Opportunity Announcement），表示美國能源部正在徵求成本分攤計畫的提案，來開發創新、有潛力的工業驅動反應爐，其相關之設計與技術，可促進美國核能技術的發展。佩里表示，以進步型核能技術為目標的早期投資，可支撐國內工業在現在與未來的擴大與發展。同時佩里也提到，這個投資的機會是邁出「確保國家持續受益於這項乾淨、靈活的電力來源」，非常重要的一步。

美國能源部（DOE）期望能在 2018 財政年度期間籌措 3,000 萬美元（約 9 億新台幣）、甚至更多的資金，來支持這項資助計畫。該計畫將開放為期 5 年的時間，以 1 年為一個單位來接受申請，並於每季進行一次遴選，未來幾年也會根據國會的撥款獲得更多的資金。通過這次的競爭，美國能源部鼓勵美國公司與其他美國聯邦機構、公共或民營的實驗室、高等教育機構，以及其他國內實體單位等，共同分享成功開發進步型核能技術所需要的專業知識。

U.S. Department of Energy, 2017/12/07

英國重啟高放射性廢棄物處置場選址作業

英國多年來一直試圖尋找一個擁有適當地質條件，且民眾也支持在當地建設深層地質處置場的地區，作為長期解決核電廠放射性最高的廢棄物的方法。但最近一次的努力卻在 2013 年，唯一潛在場址坎布里亞郡（Cumbria）的地方議會拒絕在當地建設最終處置場後停擺至今。不過，現在英國政府將重新開始在境內尋找一個願意在當地建造高放射性廢棄物最終處置場的地區。由於英國薩默賽特郡

（Somerset）目前正在進行一座核電廠的建設工程，並計畫另外建造 4 座，這也使處置場選址作業顯得更為重要。

負責在地下數百米深處建設處置設施的英國放射性廢棄物管理部門（RWM）表示，自 2014 年以來他們就致力於向有興趣的地區溝通與交涉，目前也陸續取得一些進展。另外，為了可以找到最合適的地區，英國也開始進行國家地質審查作業。英國估計，處置場計畫將耗資 120 億英鎊（約 4,800 億新台幣），英國政府將負擔其中的 55%，剩餘的 33% 與 10% 則分別由法國電力公司等新建核電廠的電力公司，以及早期負責核電廠營運的電力公司撥出的基金來支付，但確切的數字仍必須視有多少的廢棄物必須貯存在該處置場內。

The Guardian, 2018/01/21

日本關西電力公司考慮將用過核燃料轉移至青森縣

根據日本朝日新聞的報導，日本關西電力公司（Kepco）目前正考慮將其位於福井縣 3 座核電廠內的用過核燃料轉移至北部青森縣的一座中期貯存設施。關電曾承諾，會在福井縣政府允許重啟大飯核電廠兩部機組後，將用過核燃料遷移至別縣，而關電總裁岩根茂樹表示，在 2018 年底前將會有這麼一座中期貯存設施來接收這些用過核燃料。雖然關電也在考量其他地點，但位於青森縣北部陸奧的中期貯存設施，因目前已經建設完成，是個非常有可能的候選地點，不過關電仍需要獲得地方政府的同意才可以將用過核燃料轉移至此地。

目前關電位於高浜、大飯與美浜核電廠的用過核燃料均貯存在各電廠用過核燃料池內，但這些地方的燃料池已經逐漸面臨到貯滿的問題，若這些電廠的重啟均按照計畫進行，剩下的空間將在未來 7 年內裝滿，關電也因此試圖找尋適當的中期貯存設施，來轉移這些用過核燃料。陸奧的用過核燃料中期貯存設施由東京電力公司與日本原子力發電公司共同設立，耗資約 1,000 億日圓（約 270 億新台幣）。

The Asahi Shimbun, 2018/01/07

中國於福州召開校園核能安全文化科普活動交流會

中國環境保護部核與輻射安全中心、北京清華大學與福建輻射環境監督站於最近在福州聯合召開校園核能安全文化科普活動交流會，會議主旨在提高學生對核電、核與輻射的認知水平，並樹立正確的核與輻射觀念。除了上述主辦單位之外，中國國家核安全局、環境保護部宣教中心、福建省環境保護廳、閩南師範大學、中核集團新聞宣傳中心以及中國核學會科普部等單位均派代表出席，並分別介紹各單位開展科普工作的最新情況，進行經驗交流與探討。

與會的北京清華大學教授表示，「核能安全文化校園行」已經列入清華國家大學生素質教育課程，內容主要包含邀請專家走進校園，開設核能安全文化科普講座與宣傳等；與會代表也至閩南大學參觀全中國首座校園核輻射監測科普示範站，觀摩示範站是如何以簡單明瞭的方式解釋看不見、摸不著的輻射，在經過線上監測後成為「看得見」、利用採集設備「抓得著」，讓學生更容易理解核與輻射的知識。

中國國家原子能機構，2018/01/01

國內新聞

綠島邁向綠能島 首座地熱試驗探勘井開工

台電首座「地熱試驗探勘井」，於 2017 年 12 月 28 日正式開工，台電表示，除了持續開發太陽光電與風電，預計 2025 年累積裝置容量可達 180 萬瓩。這次是結合綠島豐富的地熱資源，推動「綠島地熱發電機組試驗性計畫」。綠島是火山島，特殊的地理環境及怡人的氣候，每年吸引 36 萬觀光客湧入，東南方朝日溫泉為世界三大海底溫泉之一，泉水帶有海水的鹹味，屬於硫酸鹽氯化物；地熱與溫泉分屬不同的熱源層，地熱開發不會影響溫泉熱源，台電善用上天賜與綠島的寶貴地熱能量，轉化成穩定的電力，創造供電與觀光雙贏。

此計畫的目標是 108 年底前完成裝置 1 部 200 瓩地熱發電實驗機組，未來可望視地熱產能擴大發電規模，設置 2,000 瓩的示範電廠，年發電量 1,051.2 萬度，目前綠島全年用電量 1,628.8 萬度，約可挹注一半以上用電量，減碳量達 5,561 公噸（以 105 年電力排放係數 0.529 公斤 / 度計算）。

台電說明，地熱發電每度發電成本約 6 元，傳統柴油發電機組若加上油料運輸成本約 14 元，在旅遊旺季用電需求增加時，可搭配柴油發電供電，有效降地供電成本。

本刊訊 2017/12/29



▲ 台電綠島地熱發電正式開工

能源轉型 台電推動興達電廠燃氣機組更新計畫 2023 年供電

台電高雄興達電廠預計將新設 3 部潔淨天然氣機組，陸續替代既有火力機組，預計 2023 年起供電，並將打造成生態電廠。

台電指出，為確保可滿足台灣未來持續成長的用電需求，兼顧環保及能源轉型，規劃新設 3 部燃氣發電機組，裝置容量達 390 萬瓩，以提升發電及環保排放效率，並可大幅減少發電排放對於空氣品質的影響、優於現有機組，而新設機組順利完成後，既有機組將陸續除役。

興達電廠位於高雄興達港南側，是 70 年代因應南部工業成長產生電力需求而興建的火力發電廠，目前有 4 部燃煤、5 部燃氣共 9 部機組，裝置容量達 432.6 萬瓩，是台灣南部的重要電力來源。

本刊訊，2017/12/26



▲ 台電興達電廠將新設 3 部潔淨天然氣機組

從實驗裡學輻射

譯・劉振乾

受到福島事故的影響，相信有不少人對輻射是抱持「可怕」、「危險」的印象。由於輻射無臭無味，眼睛看不到，五感都感覺不到，然而它確實存在於我們身體周遭，就在生活中的農業、工業、醫療等各種領域裡被廣泛使用。

本文介紹日本八戶工業大學開辦的「輻射講座」，為提供輻射的正確知識以及培育相關人才。

八戶工業大學有工學院 5 個系以及設計學院 1 個系，共有約 1,150 名學生。這次開辦的「輻射講座」有 172 名大二的學生參加，分為聽講與做實驗兩個過程。

「生活中的輻射」課程

東北輻射科學中心理事、東北大學名譽教授的石井慶造先生以「生活中的輻射」為講題，說明輻射就在我們的生活裡，在農業、工業、醫療等各種領域中廣泛使用的情形，以及破除因福島事故的影響而對於輻射以及食物所產生的謠言災害等各項因應措施。

首先，石井教授強調一般人認為危險的輻射，運用於農業、工業、醫療等各種領域，因此需要正確的認識。我們每天從宇宙、食物以及大地接受來自自然界的輻射，而會放出輻射的放射性物質也有很多種，例如在昆布裡的鉀40、利用在地球生成時的動植物年代測定的碳14，還有幾十年前的核子試爆實驗所釋放出的銫 137 與鍶 90 等。



▲ 圖 1. 學生聽講的情形

輻射對於人體的影響各有不同，可以分為；1. 體外曝露與體內曝露，2. 全身曝露與局部曝露；3. 短期曝露與長期曝露；4. 輻射的種類與能量；5. 年齡、性別、個體差異等因素。

其次，發生福島事故後，即使是接受最多輻射劑量的兒童也約在 30 毫西弗，而從追蹤廣島及長崎的原爆曝露者輻射劑量的致癌風險調查，在 100 毫西弗以內的曝露時，不論是成人或小孩，癌症與白血病等致癌風險都已確認沒有增加。以圖表與數據淺顯的解說上述這些事實，結論就是在福島沒有增加致癌風險的可能性。

而生活中致癌風險的因素有很多，如抽菸、肥胖、偏食等（表 1），抽菸或是每天攝取 550cc 以上的酒精，會比接受 500-1,000 毫

西弗的輻射曝露有更高的致癌風險。石井教授說：「重要的不是單單只考慮輻射，而是考慮整體的生活習慣，抑制真正致癌風險的因素。」

放射性具有高速的粒子與波的性質，每一個都有很大的能量。依照其種類與能量，具有沖洗照片與螢光、電離、穿透等性質與作用，運用於各種領域。

例如，注射器等醫療用品的滅菌、農作物的品質改良：在鹽害水田也能收穫很多的稻、不容易生病的梨子、抑制馬鈴薯與洋蔥的發芽的照射設施等是利用到輻射的電離作用。而醫療儀器以及測量鋼板厚度、檢查噴射引擎等是利用輻射的穿透力。而日本著名的屋久杉的年代測定則是使用碳 14。

實施「食品就地完整檢查」

石井教授說：「為了減少謠言傷害，重要的是要確確實實的做檢查，讓大眾知道食品的安全。」由於福島事故的影響，在部分地區，野豬的肉中放射性銫仍超過基準值（大於 100 貝克 / 公斤）。但是另一方面，卻有很多農水產物，其安全被確認了，但還是受到謠言傷害。

石井教授在福島縣內聽取很多苦於謠言傷害居民的各種意見，開發了「食品就地完整檢查系統」。當初的食品檢查，是把蔬菜切細之後做，這樣即使確認安全，也只剩下切細的蔬菜而已。就地完整檢查確認安全後的農水產品，可保持原來的狀態而出貨，能夠料理的範圍也擴大了。

現在，福島市內有 20 處以上，福島縣內則有 30 處以上，可以實施這項「食品就地完整檢查」。

石井教授與宮城縣的石卷魚市場合作，開發「輸送帶式連續完整汙染檢查裝置」，可將大量的魚放上輸送帶，再一一分別檢查，依據測定出的輻射的量，把魚選別出來。這套設備

表 1. 輻射 / 生活習慣與發生癌症機率的比較

原因	增加罹患癌症的機率
吸菸男性	1.6 倍
輻射曝露（1,000 毫西弗）*	1.5 倍
大量性喝酒	1.4 倍
偏瘦型男性（BMI14.0~18.9）	1.29 倍
肥胖型男性（BMI30.0~39.9）	1.22 倍
運動不足	1.15~1.19 倍
輻射曝露 *（100~200 毫西弗）	1.08 倍
蔬菜攝取不足	1.06 倍
丈夫吸菸的配偶（吸二手煙）	1.02~1.03 倍
輻射曝露 *（未滿 100 毫西弗）	無檢出

* 廣島、長崎原爆事件受輻射的影響。

日本國立癌症研究中心整理

在宮城縣的女川港與茨城縣的大津港也大顯身手，在宮城縣丸森町用於檢查竹筍，白石市則用於檢查柿子。

除了輻射的基本知識與生活中的活用方法之外，石井教授以淺顯易懂的方式講解福島事故的影響，以及減少謠言傷害而實施的各項檢查等，學生們也很關心，課程結束時，博得熱烈的掌聲。

認識輻射的實驗

東北輻射科學中心理事高倉吉久先生以「各位聽到輻射會有什麼印象？」作為開場白，從福島事故以來，對於輻射是「危險」、「有害」、「原子彈」等負面印象的民眾增加了不少。在學生們上課的教室內，經由測定器確認環境中每一分鐘有 30-40 個貝他（β）射線。

實驗一

首先使用平常生活中常見的塑膠板做實驗。塑膠不耐熱，稍微加溫就會變形或是折斷；但是如果以貝他射線照射，產生「架橋現象」（註 1）之後的塑膠板，抗熱性很強，也不容易變形。

請一位同學拉扯經過熱水加溫過的塑膠板，很容易就折斷了，但是經過貝他射線照射的塑膠板，只是稍微伸長了一些，沒有被折斷。

因此，輻射可用於物質性質的改良，運用在輪胎、球拍以及小提琴的弦；在醫療的領域裡則使用於注射器或是手術刀械的殺菌，農業的領域裡則用於品種改良。

實驗二

經過輻射照射的物質，擷取其中一部分的分子，再結合另外物質的分子，就是「接枝聚合法（graft polymerization）」，這一類的商品也已開發出來。在實驗裡，高倉先生先將氨水加入紅色，噴在布上，然後再噴消臭劑。不久之後，紅色變淺且臭味消失。



▲ 圖 2. 由於「架橋現象」塑膠板不容易變形

以使用過「接枝聚合法」消臭效果的這塊布再次噴上氨，即使沒有另外噴消臭劑，不久之後紅色就消失，而且也沒有臭味。

從這實驗明白，由於「接枝聚合法」把「消臭效果」牢牢放在這塊布上。活用「接枝聚合法」的消臭劑與布巾等公開上市，加上碘劑的口罩則是可以預防流感。

實驗三

平常，肉眼看不到的阿伐（α）射線現在可以看到了，使用的是由英國物理學家威爾遜（Charles Thomson Rees Wilson, 1869-1959）發明的「威爾遜的雲霧室（Cloud chamber）」。這是獲得 1927 年諾貝爾物理獎的裝置，歷經約 100 年之久，仍然可以用於確認輻射的實驗中。

首先，將圓形容器上方的海綿浸滿酒精，用保鮮膜蓋住，使容器中充滿酒精的蒸氣。再來把容器放在乾冰上，讓容器的上下產生溫度差，內部為過飽和狀態。放在容器內的針，頂端附著一塊鈾礦石，放射出的阿伐射線的軌跡以雲狀出現，類似飛機雲的「雲」一般。以手



▲ 圖 3. 把房間燈關掉以手電筒照射容器的側面，可以看到針的頂端附著的鈾礦石，放射出阿伐射線的軌跡



▲ 圖 4. 以「貝他小朋友」接近受測材料，發出「嗶嗶嗶」的聲音

電筒照在黑色板子上，學生們看到好幾道出現又消失的軌跡，感到興致勃勃。

實驗四

最後的實驗，是調查公關處長的佐藤先生使用當對於貝他射線產生反應時會發出音響的簡易測定器──「貝他小朋友」，與測定阿伐射線的「阿伐小朋友」來測量身邊物品的輻射。

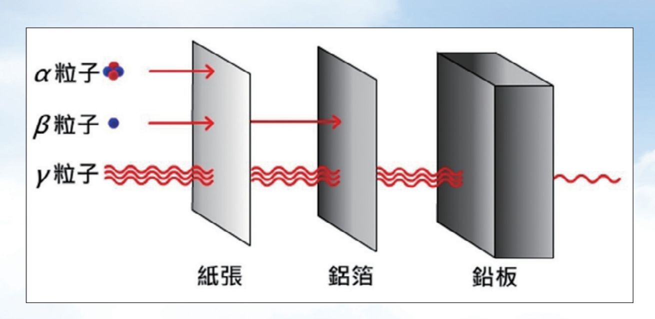
首先，以「貝他小朋友」測量白米、乾燥的昆布、花崗石、溫泉花（溫泉中的礦物質結晶）、氯化鉀肥料，每一樣材料都是身邊可以看到的東西。發現白米與昆布含有「鉀 40」的天然放射性物質，學生們確認了平常放進嘴裡的食物也含有放射性物質，經由飲食時時刻刻都存在於人類的身體內；也知道了使用於建築材料的花崗石以及溫泉花會產生輻射。

在自然界裡，本來就存在很多「放射性物質」。佐藤先生曾在東京、銀座各地一邊走一邊測量，結果輻射值最高的地方竟然是使用花崗石最多的建築物的地方。遊人如織的銀座，在那雄偉的建築物前，竟然有最高的輻射。

再來使用「貝他小朋友」與「阿伐小朋友」試驗輻射的穿透力。先在要使用的材料與測定器之間插進紙張或是鐵板再做測量。結果，貝他射線穿透紙張而擋在鐵板前，阿伐射線則靠一張紙張就擋掉了，確認輻射依種類不同其穿透物質的能力也不一樣。

另一個實驗是變更材料與「貝他小朋友」之間的距離，比較測定值，得到離試料越遠，測定值越小的結果。

最後佐藤先生拿在手裡的是除塵機。利用這除塵機將教室內的空氣吸入約 1 小時，以「貝他小朋友」測定裝置在吸入口處的紗布上所積存的灰塵。從「貝他小朋友」發出「嗶嗶



▲ 圖 5. 輻射依種類不同，其穿透物質的能力也不一樣

嗶」的聲音，測定器的針開始動了。這是與空氣中的灰塵一起吸入的氡所發出的輻射，我們在呼吸的時候當然也會進入體內。

聽講的學生們透過石井教授精彩的講解與使用身邊的材料的實驗，確認了輻射雖然靠人體的五感無法辨識，但是它存在於地球的任何一個地方，只要使用測定器誰都可以簡單地把它測定出來。

參加者的心聲



佐佐木同學

在「威爾遜雲霧室」的實驗中，看到輻射形成如同飛機雲一般的軌跡，很驚訝。因為有「輻射是看不到的」的概念，即使是間接的，看不到的變為看得見的，實在太感動了。

因為福島事故的影響，對於輻射有危險的印象，從講解中知道輻射可以強化輪胎的橡膠。為了讓生活過得更舒適而多加運用，輻射只要用對地方就能造福人群，但是用在軍事上可能就會變為殺人利器。



尾形同學

首次體驗到「威爾遜雲霧室」的實驗，平常眼睛看不到的輻射，以飛機雲的形狀而看見，感受到輻射就在身邊。以前不知道輻射被運用在很多領域裡，弄清楚輻射就在身邊而且並不怎麼危險，只要用對方法就能造福人群，改變了對於輻射的印象。



七役同學

不單是聽講而已，還有很多實驗，只是聽課不了解的原理也藉著實驗搞懂了，感覺變有趣的。特別是「威爾遜雲霧室」的實驗，輻射的軌跡以這種方式能親眼看到，真的很感動。在聽課以前，認為輻射是危險的，透過各位老師的授課，知道輻射在身邊的各種領域都做出貢獻，認為輻射不再那麼可怕了。



長坂同學

平常對輻射就有「危險」、「不可碰觸」的印象，透過講解與實驗，了解輻射對於人體帶來影響的危險度依其種類與劑量而有不同，只要量少就不必擔心。也知道輻射在生活的周邊被廣泛的應用，改變了舊有對輻射的想法，進入新發現的境界。透過這次的講解，不再無謂的害怕，務實的了解才是最重要的。

註 1：架橋現象：多種類的分子之間以鎖狀、長長的互相連結的情形，形成架橋一樣的分子鎖。

資料來源：

Hiroba 雜誌，vol. 477，2017/10，p.57~p.68

〔Hiroba（廣場）是由日本東北能源懇談會發行的公關雜誌〕

什麼是「放射性」和「輻射」(六)

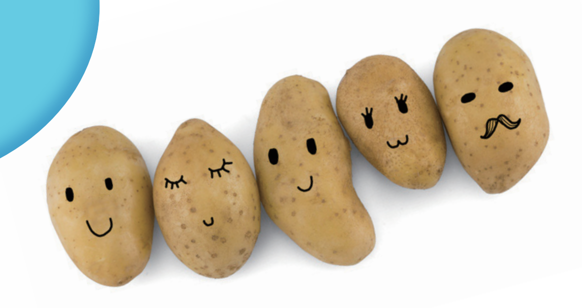
文．朱鐵吉

Q16 輻射為什麼可以用於治療癌症或醫療器械的滅菌，防止馬鈴薯發芽，消滅害蟲？它的機制是什麼？

A 輻射照射物質之後，組成物質的原子或分子的電子就被擊出。其結果是切斷了分子間的化學鍵，於是原子或分子被游離和激發。例如，水受到大量輻射的照射時 H 與 O 的鍵被切斷，生成 H_2 和 H_2O_2 等。由於游離的原子或分子被活化，將引起種種的化學反應。

那麼，生物受到輻射的照射會發生什麼事情呢？

首先，生物受到大量的輻射照射之後，切斷了組成生物的分子的化學鍵而被破壞，因此生物體的生物機能被破壞，以致細胞死亡。我們可以利用這一點來破壞癌細胞或微生物，進行癌症的治療或醫療器械的滅菌。紫外線有滅菌效果，輻射當然也有滅菌作用。



生物體內進行著複雜的生物化學反應，生物受到中等劑量的輻射照射之後，尚未到死亡的程度，但是因為生化反應產生變化，攪亂了激素分泌等生理與代謝機制，因此積極運用輻射以防止馬鈴薯發芽和消滅害蟲。

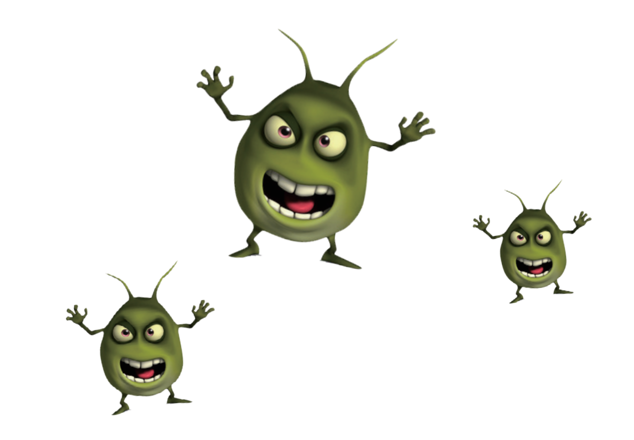
以 60-150 戈雷（Gy）的加馬（γ）

射線照射馬鈴薯，可以防止發芽而又不致死亡，這只是攪亂它的代謝機制，抑制發芽而處於休眠狀態，如果施以植物生長激素 （auxin），它就會再發芽。

此外，用輻射消滅害蟲的方法是對害蟲（例如，吃野外的果實造成損害的果蠅群）預先做輻射照射，使之絕育從而消滅，這是一種很理想的方法。

首先用加馬射線照射果蠅的蛹，使其接受 50-70 戈雷的劑量，使它們的生殖機能被破壞，於是雄蛹無精子，雌蛹無卵子。這些蛹變為成蟲之後，雖然交尾卻不能繁殖後代。

大量飼養這些不孕的害蟲之後，把它們放飛到野外，與野生的害蟲交尾，交



尾後成蟲死亡，這樣除了部分都是野生的雄性與雌性有後代之外，與不孕的交尾者均無後代，於是害蟲的數量就減少。定期放飛飼養的不孕害蟲，經過幾代之後害蟲很快就減少了，最後消滅。

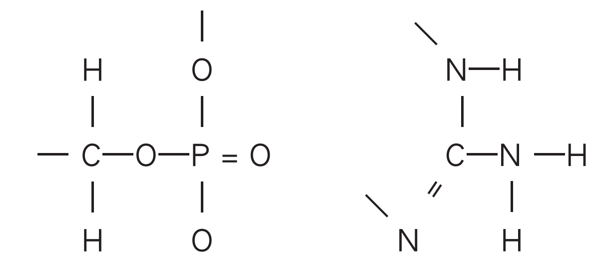
這種消滅害蟲的方法完全不用農藥，也不是用輻射直接把害蟲殺死，而是使之無法繁殖而逐步消滅，正是一種「以蟲治蟲」的好方法。



害怕輻射的原因是什麼？

A 生物體受到輻射的照射之後，細胞中的 DNA〔基因的實體，稱為去氧核糖核酸（deoxyribonucleic acid）〕的分子被切斷或分子的排列變得不規則。這種損害的機率隨著受到的劑量，依比例增加。受傷的 DNA 大部分可以恢復，但成千上億個中難免有幾個無法修復的。因此，會發生遺傳訊息的不正常，結果導致細胞繁殖的變異，這就是突變。DNA 的結構非常複雜，其一小部分如下頁圖 1 所示。

基因突變的產生確實容易出現遺傳效應或癌變，對輻射的恐懼即在於此。我們常聽到一句話：「即使受到少量的輻射，也會引起基因突變而生下畸形兒。」的不科學的報導。這種報導是混淆了體細胞基因和生殖細胞，這兩種細



▲ 圖 1. DNA 化學結構的一部分

胞都會有基因。癌是體細胞的基因受損而引起，畸形遺傳效應是生殖細胞的基因受損而引起。如果受到輻射傷害的是手足或胃腸等體細胞的基因，這是不會生出畸形兒的。體細胞跟生殖細胞的混淆，如同輻射與放射性的混淆都是使人頭痛的問題。然而，引起突變的原因不只是輻射，而是多方面的。

引起基因突變的原因如下：

1. 化學物質
2. 熱處理
3. 紫外線
4. 輻射
5. 病毒
6. 壓力

第 1 種原因是食品添加劑或農藥、黴菌、煙草等致癌物質。煙草的煙中含有苯與其他有機物等致癌物質。汽車的排氣中也會有苯與其他有機物。煙草對基因的損傷能力可以與輻射劑量的效應進行換算：1 支香菸相當於接受 0.04 毫西弗的劑量，如果吸 25 支香菸，其效果相當於 1 年中曝露在天然輻射中的劑量 1 毫西弗。所以說，吸煙是「慢性自殺」。



表 1. 輻射致癌與遺傳的影響

	經 1 毫西弗的曝露	經 10 毫西弗的曝露	自然發生率
白血病	2.0 人 /100 萬人（0.0002%）	2.0 人 /10 萬人（0.002%）	2.0 人 /1 萬人（0.2%）
各種癌症	12.5 人 /100 萬人（0.0013%）	12.5 人 /10 萬人（0.013%）	1 人 /4 人（26.5%）
遺傳傷害	400 人 /100 萬人（0.0004%）	4.0 人 /10 萬人（0.004%）	1 人 /10 人（7.6%）

引起基因突變的第 2 種原因是熱處理，因為熱處理損傷了基因且合成致癌物質。第 3 種紫外線的威力比輻射稍弱，但是由於氟氯化物破壞臭氧層的問題，使進入大氣層的紫外線增多。第 5 種是特殊的病毒損傷基因。第 6 種是長期緊張或受到壓力，會刺激生理或代謝機制，使之紊亂，這可以看成是間接地誘發基因損傷。對於輻射會造成突變的誤解，歸根究底無非是對基因的理解不夠。

不僅是馬鈴薯，食物的體細胞是由蛋白質組成的。因此對食品進行加熱烹調時，其中的基因會分解，同時也會合成不同程度的致癌物質。因此有不少人相信「馬鈴薯經過輻射照射後，損傷了基因，於是吃了這種馬鈴薯會引發癌症或影響遺傳。」



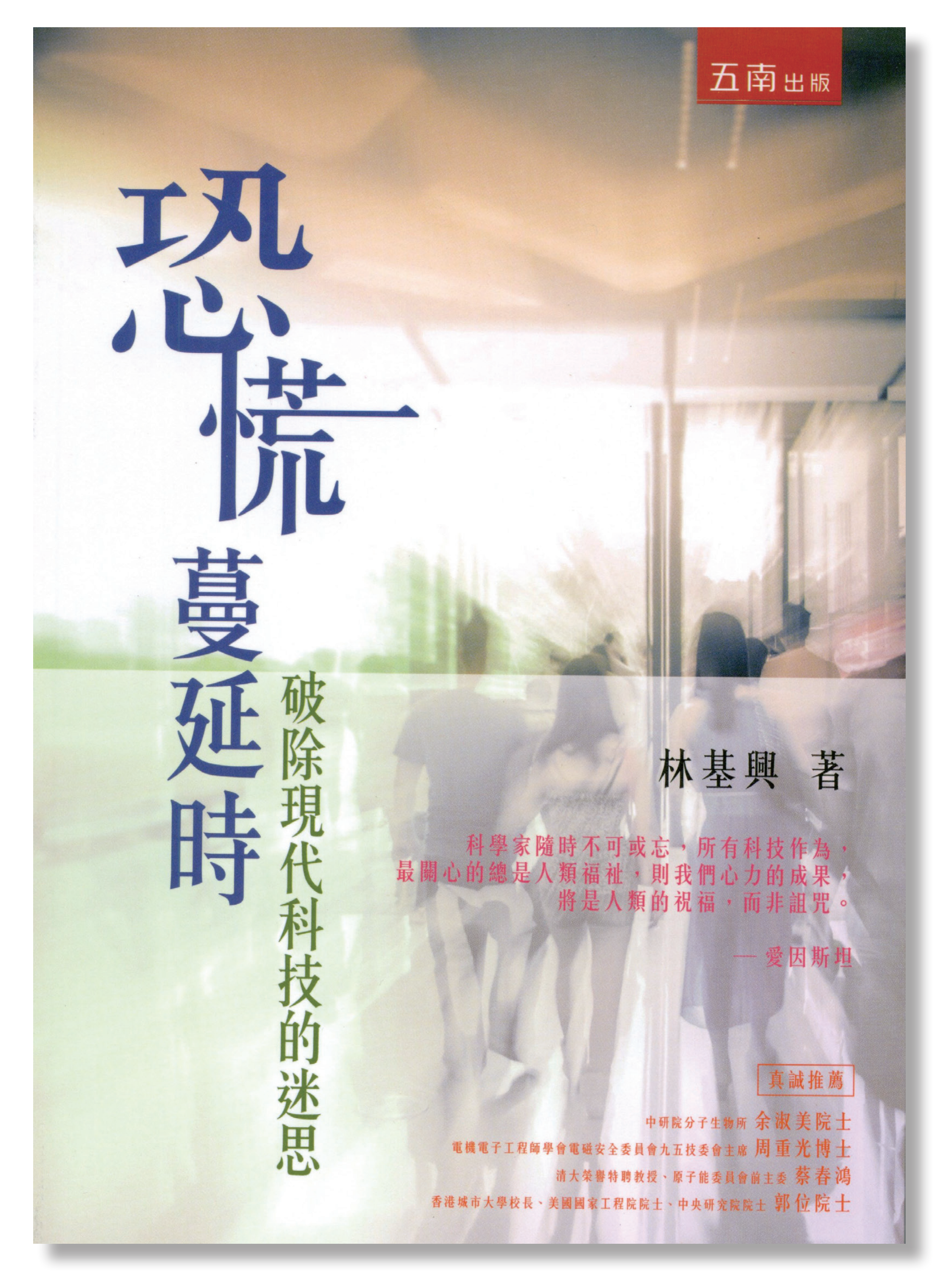
輻射的一體兩面

依照最新的統計調查，致癌的原因有 35% 來自食物，30% 來自吸煙、10% 來自病毒，其他是酒精 3%，輻射及紫外線 3%，大氣污染 2% 等。

如前所述，受輻射曝露後，容易發生癌或遺傳的傷害，發生的機率與所受到的劑量成比例。表 1 列出了聯合國原子輻射效應科學委員會（UNSCEAR）發表的白血病、各種癌症、遺傳病的發生機率與受曝露的輻射劑量的關係。為了比較，一併列出了自然發生率。其中，有關白血病的各種癌症的值是根據廣島和長崎的原子彈爆炸輻射曝露後倖存者的追蹤調查值。由表 1 可知，如果受到 100 毫西弗的劑量，白血病的發生率為 1 萬人中可能有 2 人，這與自然發生率相同。

此外，從動物實驗可以明顯看到輻射對遺傳的影響；但對人類，從廣島與長崎的原爆倖存者的數據來看，迄今超過 60 年還看不到有何影響。從表 1 的動物實驗結果推算，可能令人吃驚的是：即使未受到輻射的曝露，人類的遺傳疾病發生率也很高，自然發生率為 7.6%。

（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）



推薦序：蔡春鴻教授（清大榮譽特聘教授、原子能委員會前主委）、郭位校長（香港城市大學校長、美國國家工程院院士）等。

作者林基興博士，曾任公益《科學月刊》社理事長，致力於科學教育與提升社會科學水準，受世界衛生組織主席推薦到《自然（Nature）》「挺身維護科學獎」。當前，台灣深受「核能輻射」等科技爭議之苦，《恐慌蔓延時》一書，以最佳科學證據解釋當前科技與社會問題，尤其核能輻射，也析論推波助瀾的民代、媒體、環團。作者以科學證據與人文關懷，希望有助於「個人健康、社會和諧、國家進步」。